

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Návrh rámu průmyslové pračky

Design of a Frame for an Industrial Washer

Student:

Bc. Martin Blahuš

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Zdeněk Dejl, CSc.

Ostrava 2010

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že výtisk diplomové práce bude uložen v Úřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Blahuš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Gagarinova 442
Hlubočky 3
783 65

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BLAHUŠ, M. *Návrh rámu průmyslové pračky: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2010, 61s. Vedoucí práce Zdeněk Dejl.

Diplomová práce se zabývá návrhem spodního rámu odpružené průmyslové pračky. Na začátku práce je provedeno srovnání dostupných rámu od různých výrobců praček. Práce se skládá z návrhu zatížení rámu, který je proveden teoreticky i za pomoci měření na experimentálně navrženém rámu. Poté je proveden rozbor konstrukce a samotný návrh rámu, který je proveden dle požadavků firmy Primus. Navržený rám se testuje dle naměřených hodnot zatížení za pomoci softwarového programu Metodou Konečných Prvků - MKP. Z pevnostní analýzy je určeno zatížení rámu a sestaven zátěžný cyklus v místě maximálního redukovaného napětí dle metody HMM. Z cyklu se za pomoci Wöhlerovy křivky a Smithova diagramu určí bezpečnost navržené konstrukce a provede se výpočet životnosti rámu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

BLAHUŠ, M. *Design of a Frame for an Industrial Washer: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2010, 61p., Thesis head: Zdeněk Dejl.

This master thesis deals with the design of an underframe for a spring-loaded washing machine. At the beginning, I have conducted a research of various underframes from various manufacturers accessible at the market. The thesis contains of a underframe load's design which is elaborated both theoretically and according to the measurement on the experimentally designed underframe. Then, I have executed an analysis of the construction and the underframe design itself. It is elaborated exactly in compliance with the requests from the company Primus. The underframe design is tested according to the measured data using the Finite Element Method – FEM in the ANSYS Workbench software. On the basis of static structural analysis, I determined the underframe load and the load cycle in the spot of maximal reduced strain by the HMM method. From the Wöhler Curve and the Smith Diagram I determined the safety of the designed underframe and I calculated its working life.

Obsah

	Strana
1. Úvod	1
2. Přehled současného stavu řešené problematiky	2
2.1. Primus	3
2.2. Elektrolux	4
2.3. Miele	5
2.4. Girbau	6
2.5. VVM-IPSO s.r.o Fulnek	7
2.6. Meron as.	8
2.7. PLOF (experimentální řešení rámu Primus).....	9
3. Návrh rámu	10
3.1. Určení způsobu zatížení spodního rámu.....	11
3.1.1. Teoretický výpočet sil.....	12
3.1.2. Měření zatížení spodního rámu PLOF	16
3.1.3. Měření sil do základu.....	24
3.1.4. Srovnání výsledků jednotlivých měření	27
3.2. Návrh konstrukce rámu.....	27
3.2.1. Rám PLOF	29
3.2.2. Finální řešení rámu	33
3.3. Popis použitých prvků rámu	43
3.3.1. Tlumení	44
3.3.2. Nýtový spoj	45
4. Výpočet životnosti	48
4.1. Popis pracovního cyklu.....	48
4.2. Sestavení Wöhlerovy křivky.....	50
4.3. Výpočet bezpečnosti.....	53
4.4. Predikce životnosti konstrukce	55
5. Závěr	58
6. Seznam použité literatury	59
Seznam příloh	61

Seznam použitých značek a symbolů

D_a	intenzita poškození	[-]
F	tahová síla v nýtu	[N]
F_a	amplituda dynamické síly	[N]
F_{apFS10}	přepočtená amplituda dynamické síly	[N]
F_d	dolní mezní hodnota kmitu	[N]
F_h	horní mezní hodnota kmitu	[N]
F_m	střední hodnota kmitu	[N]
F_{mp}	střední hodnota kmitu pružiny	[N]
F_{mt}	střední hodnota kmitu tlumiče	[N]
F_{od}	odstředivá síla nevývažku	[N]
F_s	statická síla	[N]
F_{spFS10}	přepočtená statická složka síly	[N]
F_x	síla v ose X	[N]
F_y	síla v ose Y	[N]
F_{yip}	i-tá hodnota síly v ose Y pružiny	[N]
F_{yit}	i-tá hodnota síly v ose Y tlumiče	[N]
$F_{y \max p}$	maximální síla v ose Y pružiny	[N]
$F_{y \max t}$	maximální síla v ose Y tlumiče	[N]
F_z	síla v ose Z	[N]
H	exponent Haibachovy křivky	[-]
L_C	vypočtená životnost	[cykly]
L_{CP}	vypočtená životnost v pracích cyklech	[p· cykly]
L_{CPp}	průměrná životnost v pracích cyklech	[p· cykly]
L_{Dh}	celková délka dosedací plochy horního rámu	[mm]
L_{Dhz}	základní délka dosedací plochy horního rámu	[mm]
L_{Ds}	délka dosedací plochy spodního rámu	[mm]

L_{Dv}	volná délka nutná k vyplnění	[mm]
L_n	délka nástavce	[mm]
L_s	počet cyklů během měřeného spektra	[cykly]
N_a	počet cyklů amplitudy do poruchy na Haibachově křivce	[cykly]
N_C	počet cyklů na mezi únavy	[cykly]
N_k	počet cyklů na mezi kluzu	[cykly]
R_m	mez pevnosti materiálu	[MPa]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
S	plocha příčnicku	[mm ²]
S_p	půdorys stroje	[m ²]
T	perioda kmitu	[s]
V_o	objem zkušební tyčinky	[mm ³]
V_p	objem boční plochy příčnicku	[mm ³]
a	příčná délka půdorysu stroje	[mm]
b	podélná délka půdorysu stroje	[mm]
b_c	součinitel celkového viskózního tlumení	[N·s·m ⁻¹]
b_{kr}	součinitel kritického tlumení	[N·s ·m ⁻¹]
b_p	poměrný útlum	[-]
b_{t1}	součinitel viskózního tlumení jednoho tlumiče	[N·s·m ⁻¹]
b_z	šířka příčnicku v ose Z	[mm]
b_{z1}	délka stěny výpočtového trojúhelníku	[mm]
c_1	šířka horní části pračky	[mm]
c_2	šířka ovládacího panelu	[mm]
d'	vypočtený průměr nýtu	[mm]
d_b	průměr bubnu	[mm]
d_{d1}	průměr dvířek vnitřní	[mm]
d_{d2}	průměr dvířek vnější	[mm]
d_n	předvolený průměr nýtu	[mm]

d_s	průměr zkušební tyčinky	[mm]
f	frekvence dynamického zatížení	[Hz]
g	gravitační zrychlení	[m·s ⁻²]
k_c	celková tuhost odpružení	[N·m ⁻¹]
k_n	koeficient náplně	[-]
k_p	bezpečnost v tlaku	[-]
k_{p1}	tuhost odpružení jedné pružiny	[N·m ⁻¹]
k_s	směrnice přímky	[-]
k_τ	bezpečnost ve střihu	[-]
l_s	délka zkušební tyčinky	[mm]
m	exponent daný materiálem a způsobem zatěžování	[-]
m_n	výpočtová hmotnost náplně	[kg]
m_{nev}	hmotnost nevývažku prádla	[kg]
m_{nz}	hmotnost náplně základní	[kg]
m_{odb}	hmotnost odpružené části	[kg]
$m_{o\sigma}$	hmotnost odpružené části pračky	[kg]
m_s	hmotnost stroje bez náplně	[kg]
m_{sc}	celková hmotnost stroje s náplní	[kg]
n	počet hodnot	[-]
n_{1s}	počet cyklů za jednotku času	[s ⁻¹]
n_a	počet cyklů zátěžného spektra	[cykly]
n_D	zvolená minimální bezpečnost	[-]
n_o	otáčky bubnu při odstředování	[min ⁻¹]
n_{os}	otáčky bubnu za sekundu při odstředování	[s ⁻¹]
n_p	počet použitých pružin	[-]
n_{po}	počet podložek pro jeden tlumič	[-]
n_t	počet použitých tlumičů	[-]
n_σ	vypočtená bezpečnost rámu	[-]

p	otlačení nýtu	[MPa]
p_D	dovolený tlak pro dynamické zatížení	[MPa]
p_{nevr}	radiální poloha nevývažku	[-]
q	vrubová citlivost materiálu	[-]
r_{nev}	poloměr nevývažku	[mm]
s	délka vnitřní části nýtu	[mm]
s_n	součinitel naladění	[-]
t	čas	[s]
t_1	tloušťka plechu	[mm]
t_c	délka jednoho cyklu zatížení	[s]
t_m	doba měřeného spektrazatížení	[s]
t_o	délka odstředování během praní	[s]
t_{op}	průměrná délka odstředování během praní	[s]
t_p	tloušťka podložky	[mm]
t_s	relativní čas cyklu	[s]
v	výška pračky	[mm]
v_1	vzdálenost osy bubnu od spodní části pračky	[mm]
z_T	vzdálenost těžiště	[mm]
z_{T1}	vzdálenost těžiště ve výpočtovém trojúhelníku	[mm]
w	exponent Wöhlerovy křivky	[-]
Δt	posunutí cyklů v čase	[s]
$\Delta \sigma$	rozdíl hodnot napětí (rozkmít)	[MPa]
Ω_o	vlastní úhlová rychlost	[s ⁻¹]
Ω_{ot}	vlastní úhlová rychlost s vlivem tlumení	[s ⁻¹]
α	úhel výpočtového trojúhelníku	[°]
α_K	tvarový součinitel	[-]
β	úhel k přímce 0L na Smithově diagramu	[°]
β_K	koefficient vrubu	[-]

δ	koeficient doznívání	[s ⁻¹]
ε	celkové deformace rámu	[mm]
ε_V	součinitel velikosti	[-]
η_p	součinitel jakosti povrchu	[-]
$\sigma_{1,2,3}$	velikost hlavních napětí rámu (1,2,3).....	[MPa]
σ_a	amplituda napětí cyklu zatížení.....	[MPa]
σ_{as}	střední hodnota amplitudy napětí.....	[MPa]
σ_C	základní mez únavy.....	[MPa]
$\sigma_{C,R}$	skutečná mez únavy	[MPa]
σ_d	dolní napětí cyklu zatížení	[MPa]
σ_F	tahová složka napětí	[MPa]
σ_{Fc}	celkové napětí v příčniku	[MPa]
σ_h	horní napětí cyklu zatížení	[MPa]
σ_H	horní napětí ke křivce AC	[MPa]
σ_{HMH}	redukováné napětí dle metody HMH	[MPa]
σ_m	střední napětí cyklu zatížení.....	[MPa]
σ_M	střední napětí ke křivce AC.....	[MPa]
$\sigma_{n1,2,3,4}$	zatížení v ose X příčniku (1,2,3,4).....	[MPa]
τ	napětí ve střihu	[MPa]
τ_D	dovolené napětí ve střihu pro dynamické zatížení	[MPa]
ψ_σ	teoretický součinitel sklonu dle materiálu	[-]
$\psi_{\sigma,R}$	sklon přímky AC W-křivky	[-]
ω	úhlová rychlost.....	[s ⁻¹]

1. Úvod

Tato diplomová práce je vytvořena ve spolupráci Vysoké školy báňské - Technické university v Ostravě a firmy Primus CE, s.r.o. (dále jen Primus) se sídlem v Příboru. Práce je zaměřena na úpravu, vylepšení popř. návrh nového spodního rámu průmyslové řady praček 75, 105, 135, 180, 240 (objem bubnu pračky v litrech). Jedná se o spodní rám odpružených praček za pomoci pružin a tlumičů. Pračka může být připevněna k zemi pomocí šroubů nebo může být postavena na nohách. Způsob uspořádání pračky je vidět na obr. 1, kde je patrný i spodní rám, ze kterého vychází návrhy ostatních typů rámu, které jsou obsaženy v této práci. Podrobnější informace o experimentálním rámu firmy Primus jsou uvedeny v kapitole 2, kde je též popsán způsob výroby a popis rámu od jiných výrobců.

Diplomová práce obsahuje určení způsobu zatížení pračky, návrh rámu pomocí softwarových programů, kontrolu napětí a deformací v rámu pomocí MKP, určení bezpečnosti rámu a výpočet životnosti rámu vzhledem k zatížení, kterému je rám vystaven. Tato práce byla zadána z důvodu změny konstrukce rámu firmy Primus, která nemá s výrobou tohoto rámu zkušenosti. Proto práce slouží pro upřesnění představy o konstrukci, zatížení a životnosti navrženého rámu.

Cíle diplomové práce:

- Určit způsob zatížení a sestavit zátěžný cyklus (zátěžné spektrum).
- Provést konstrukční návrh řešení rámu.
- Provést pevnostní kontrola rámu a odhad jeho životnosti.
- Zhodnotit dosažené výsledky.



Obr. 1 Náhled na vnitřní uspořádání pračky

2. Přehled současného stavu řešené problematiky

V této kapitole jsou stručně popsány spodní rámy průmyslových praček různých výrobců dostupné na našem trhu. U všech výrobců se jedná o podobné typy rámu, tzn. odpružené za pomoci pružin a tlumičů. Je zde uveden stručný postup výroby jednotlivých rámu a způsob spojování základních dílů. Dále jsou uvedeny výhody a nevýhody každého rámu, které jsou brány z hlediska ceny a jednoduchosti výroby. U každého výrobce je popsán příklad pračky s uvedenými základními parametry, které výrobce uvádí a fotografie zvoleného typu pračky, sloužící pro upřesnění představy o jejich designu. Přidané obrázky spodních rámu jsou závislé na dostupnosti dat od výrobce, a proto jsou u některých výrobců jen obrázky vybrané z katalogu náhradních dílů nebo prospektů. Uvedené příklady praček jsou vybrány tak, aby byl co nejmenší rozptyl základní hodnoty udávající možnou hmotnost náplně pračky. Bohužel, každý výrobce vyrábí pračky s různými obsahy a hmotnostmi náplně, takže se někdy hodnoty liší i v kilogramech a proto je srovnání velmi obtížné.

Na konci této kapitoly je uvedena experimentální skladba nového rámu (s označením PLOF) s výrobním postupem firmy Primus, která byla během práce testována. Z tohoto konceptu také vychází tato diplomová práce, která se snaží tento rám zjednodušit, upravit nebo nahradit lepší variantou.

Pozn.: U každého výrobce je uveden pouze název, rozbor jeho rámu a příklad pračky. Popis jednotlivých výrobců není z hlediska práce důležitý.

2.1. Primus

Jedná se o svařovaný rám, který je složený z 9 dílů. Popis a obrázky rámu získány z [10].

Postup výroby rámu:

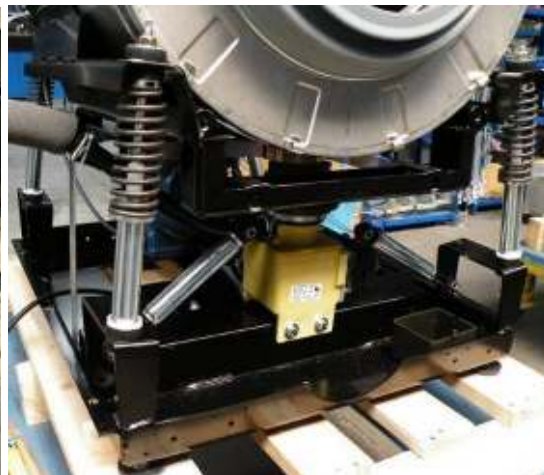
Z plechů tloušťky 4 nebo 5 mm se vystřihují díly, které se ohýbají do potřebného tvaru. Poté se provede obrábění jednotlivých dílů, které se k sobě přivařují. Nakonec se rám lakuje požadovanou barvou.

Výhody a nevýhody rámu:

+ pevnost,	- svařování (přídavný materiál), - lakování (operace navíc), - velká hmotnost (obtížná manipulace), - mnoho dílů,
------------	--



Obr. 2 Konstrukce spodního rámu



Obr. 3 Spojení spodního rámu s horním

Ukázka pračky se základními údaji [11]:

Typ:	FS 6
Kapacita prádla:	6 kg
Maximální otáčky:	1000 ot/min
Výška:	108 cm
Šířka:	66 cm
Hloubka:	77 cm
Hmotnost:	230 kg
Objem bubnu:	60 l



Obr. 4 Pračka FS 6

2.2. Elektrolux

Jedná se o rám nýtovaný, který je složený z 6 dílů. Popis a obrázky rámu získány z [10].

Postup výroby rámu:

Z pozinkovaných plechů tloušťky 2 mm se vystřihují díly, které se lisují a ohýbají do potřebného tvaru. Díly jsou mezi sebou spojeny za pomoci 12 nýtů.

Výhody a nevýhody rámu:

+ jednoduchost (pouze 6 dílů), + modulární systém, + jednoduchá manipulace, + bez nutnosti obtížného skládání, + výroba bez svarů a lakování,	- speciální nýty (materiál navíc),
---	------------------------------------



Obr. 5 Konstrukce spodního rámu



Obr. 6 Spojení spodního rámu s horním

Ukázka pračky se základními údaji [12]:

Typ:	EWFM12470W
Kapacita prádla:	6 kg
Maximální otáčky:	1200 ot/min
Výška:	85 cm
Šířka:	60 cm
Hloubka:	60 cm
Hmotnost:	65.8 kg
Spotřeba el. energie:	1,02 kWh
Spotřeba vody:	54 l



Obr. 7 Pračka EWFM12470W

2.3. Miele

Jedná se o nýtovaný rám, který je složený z 6 dílů. Popis a obrázky rámu získány z [10].

Postup výroby rámu:

Z pozinkovaných plechů tloušťky 2 mm se vystřihují díly, které se ohýbají do potřebného tvaru. Poté se provede obrábění jednotlivých dílů, které se spojují za pomoci nýtování. Jsou zde použity dvě metody nýtování. Klasické nýtování, kterým jsou spojeny 2 díly a tzv. clinching, kdy se materiály do sebe protlačují (není potřeba přídavný materiál), kterým jsou spojeny 4 díly.

Výhody a nevýhody rámu:

+ clinching (spojování bez přídavného materiálu), + jednoduchá manipulace, + bez nutnosti obtížného skládání, + výroba bez svařování a lakování,	- příliš mnoho ohybů (kvalita výroby),
---	--



Obr. 8 Konstrukce spodního rámu



Obr. 9 Spojení spodního rámu s horním

Ukázka pračky se základními údaji [20]:

Typ:	W 1749 WPS Liquid Wash
Kapacita prádla:	6 kg
Maximální otáčky:	1400 ot/min
Výška:	85 cm
Šířka:	59,5 cm
Hloubka:	63,4 cm
Hmotnost:	99 kg
Spotřeba el. energie:	1,02 kWh
Spotřeba vody:	47 l



Obr. 10 Pračka W 1749 WPS

2.4. Girbau

Jedná se o šroubovaný rám, který je složený z 9 dílů. Popis a obrázky rámu získány z [10].

Postup výroby rámu:

Z plechů tloušťky 4 mm se vystřihují díly, které se ohýbají do požadovaného tvaru. Poté se provede obrábění jednotlivých dílů a jejich nalakování. Nakonec se díly spojí pomocí šroubů a matic (4xM6, 16xM8, 8xM10).

Výhody a nevýhody rámu:

+ pevnost,	- spojení za pomoci šroubů (přídavný materiál), - lakování, - mnoho dílů,
------------	---



Obr. 11 Konstrukce spodního rámu



Obr. 12 Spojení spodního rámu s horním

Ukázka pračky se základními údaji [13]:

Typ:	HS - 6008
Kapacita prádla:	8 kg
Maximální otáčky:	970 ot./min
Výška:	108 cm
Šířka:	68,5 cm
Hloubka:	70 cm
Hmotnost:	113 kg
Spotřeba el. energie:	0,8 kWh
Objem bubnu	79,2 l



Obr. 13 Pračka HS - 6008

2.5. VVM-IPSO s.r.o. Fulnek

Jedná se svařovaný rám, který je složený z 14 dílů. Popis a obrázky rámu získány z [15].

Postup výroby rámu:

Z plechů tloušťky 4 mm se vystřihují díly, které se ohýbají do potřebného tvaru nebo vyřezávají. Poté se provede obrábění jednotlivých dílů, které se k sobě přivařují. Nakonec se rám lakuje požadovanou barvou.

Výhody a nevýhody rámu:

+ pevnost,	- svařování (přídavný materiál), - lakování (operace navíc), - velká hmotnost (obtížná manipulace), - příliš mnoho dílů,
------------	---



Obr. 14 Konstrukce spodního rámu (vpravo detaily)

Ukázka pračky se základními údaji [14]:

Typ:	IPSO HC 65
Kapacita prádla:	6,5 kg
Maximální otáčky:	1000 ot./min
Výška:	103,8 cm
Šířka:	66 cm
Hloubka:	79,6 cm
Hmotnost:	207 kg
Objem bubny	65 l



Obr. 15 Pračka IPSO HC 65

2.6. Meron

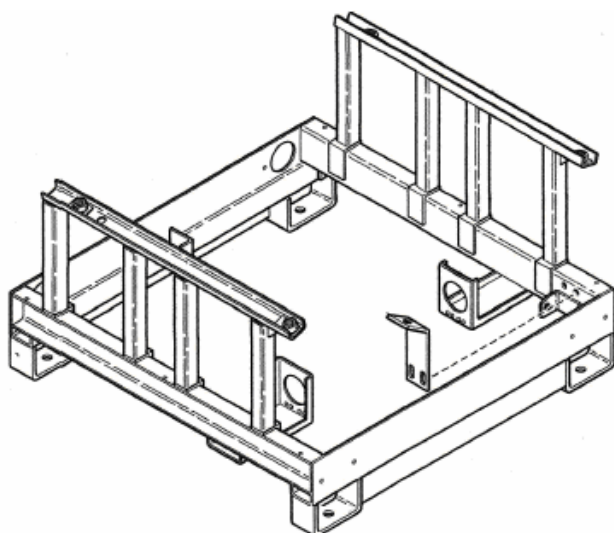
Jedná se svařovaný rám, který je složený z 18 dílů. Popis a obrázky rámu získány z [19].

Postup výroby rámu:

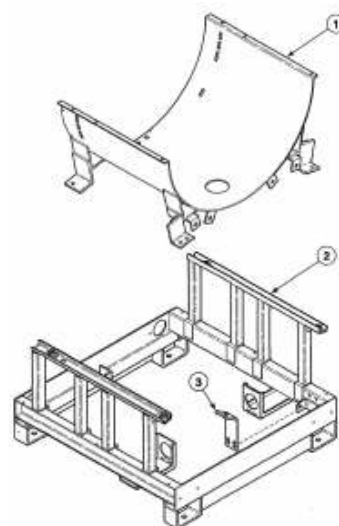
Z plechů tloušťky 4 mm se vystřihují díly, které se ohýbají do potřebného tvaru nebo vyřezávají. Poté se provede obrábění jednotlivých dílů, které se k sobě přivařují. Nakonec se rám lakuje požadovanou barvou.

Výhody a nevýhody rámu:

+ pevnost,	- svařování (přídavný materiál)
	- lakování (operace navíc)
	- velká hmotnost (obtížná manipulace)
	- příliš mnoho dílů



Obr. 16 Konstrukce spodního rámu



Obr. 17 Způsob připojení spodního rámu

Ukázka pračky se základními údaji [16]:

Typ:	UX 18
Kapacita prádla:	8 kg
Maximální otáčky:	1000 ot./min
Výška:	103,1 cm
Šířka:	66 cm
Hloubka:	78 cm
Hmotnost:	236 kg
Spotřeba el. energie:	1,65 kWh
Objem bubnu	76 l



Obr. 18 Pračka UX 18

2.7. PLOF (experimentální řešení rámu Primus)

Jedná se o nýtovaný rám, který je složený ze 4 dílů. Popis a obrázky rámu získány z [10].

Postup výroby rámu:

Z pozinkovaných plechů tloušťky 2 mm se vystřihují díly, které se lisují a ohýbají do požadovaného tvaru. Jednotlivé díly jsou mezi sebou spojeny za pomoci 12 nýtů.

Výhody a nevýhody rámu:

+ jednoduchost (2x2 symetrické díly), + jednoduché skládání, + modulární systém (použití u celé řady), + jednoduchá manipulace, + bez nutnosti obtížného skládání, + výroba bez svařování a lakování,	- nýtování (přídavný materiál),
--	---------------------------------



Obr. 19 Konstrukce spodního rámu



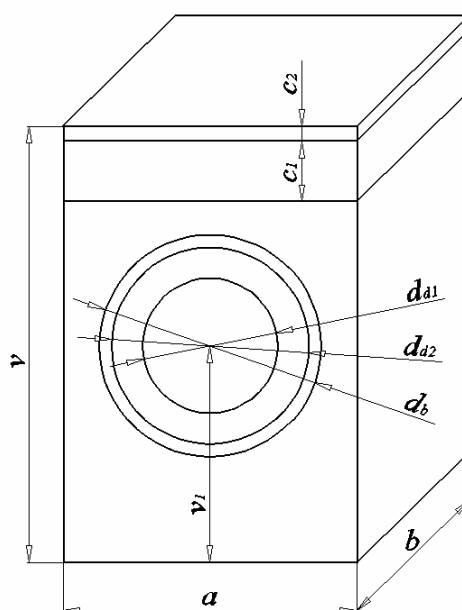
Obr. 20 Spojení spodního rámu s horním

3. Návrh rámu

V této kapitole je uveden návrh rámu pračky o objemu 75 litrů. Začíná určením sil, které na rám působí a to za pomoci výpočtů (předběžný návrh) a měření, která slouží pro zpřesnění hodnot statických a dynamických sil působících na rám. Dále je proveden návrh tvaru, rozměrů a okrajových podmínek rámu, ze kterých vychází zde uvedené finální řešení rámu. U návrhů jsou dodržovány požadované parametry, jako jsou základní rozměry rámu, způsob uložení pružin a třecích tlumičů a také způsob uchycení rámu k podlaze, který může být proveden pomocí šroubů nebo nohou. Jednotlivé díly rámu jsou k sobě připevněny pomocí nýtových spojů nebo využívají použítá šroubová spojení jiných dílů. Jsou zde uvedeny materiálové vlastnosti a důležité parametry rámu i jeho součástí. Základní parametry praček jsou uvedeny v tab. 1 a získány z [10].

Tab. 1 - Základní rozměry a parametry zadané řady praček

řada	a	b	v	d_{d1}	d_{d2}	d_b	v_l	c_1	c_2	m_{nz}
[l]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
75	685	660	1115	322	470	530	590	145	35	7,5
105	815	660	1225	395	545	620	637,5			10,5
135	815	765	1295	395	545	620	707,5			13,5
180	955	820	1400	440	590	750	765			18
240	955	955	1435	440	590	750	795			24



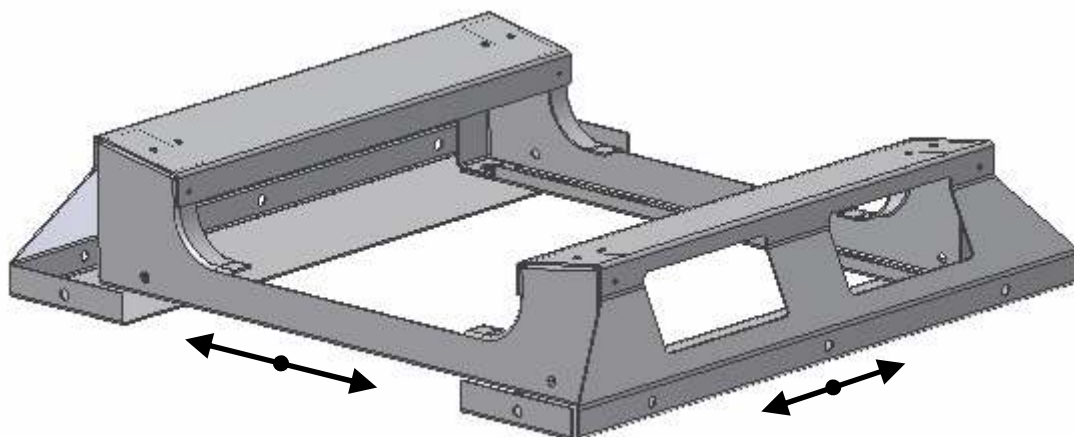
Obr. 21 Schéma pračky

3.1. Určení způsobu zatížení spodního rámu

Cílem této kapitoly je určit způsob a velikost zatížení, které působí na spodní rám z horního rámu. Oba rámy jsou spojeny pomocí 4 pružin a 4 tlumičů, přes které se zatížení z horního rámu přenáší a které jej rozkládají na spodní rám. Díky tomu má zatížení spodního rámu harmonický průběh. Popis pružin a tlumičů je uveden v kapitole 3.3.

Tato kapitola se skládá ze tří podkapitol. V první podkapitole je proveden předběžný teoretický výpočet sil působících na spodní rám ze základních známých parametrů pračky. Získaný teoretický průběh a velikost zatížení se použije pro předběžné návrhy rámu. V druhé podkapitole je skutečné měření sil na zkušebním rámu PLOF v jednotlivých pružinách a tlumičích v závislosti na čase. Jedná se o zatížení rámu, které vzniká při maximálních otáčkách bubnu tzv. odstředování a uvažuje se jako nejhorší varianta zatížení během celého cyklu praní. Proto je z provedeného měření vybrán maximální skutečný cyklus zatížení, který je použit v kapitole 3.2 k pevnostní kontrole navrženého spodního rámu a k získání napěťového cyklu v rámu. Ve třetí podkapitole je popsáno měření provedené na starším modelu pračky, které je uvedeno jen pro srovnání dosažených výsledků na starším a současném rámu pračky. Měření bylo provedeno doc. Foltou z katedry Částí a mechanismů strojů VŠB-TU Ostrava za pomoci tenzometrické metody.

Veškerá měření a výpočty jsou provedeny pro první ze série praček tj. pračky o objemu 75 litrů. U ostatních praček se předpokládá analogické rozložení zatížení, jelikož se mění pouze hlavní rozměry (šířka a délka) základních dílů rámu a tloušťka plechu viz. obr. 22. Tím se docílí požadované modulárnosti rámu.



Obr. 22 Základní díly spodního rámu

3.1.1. Teoretický výpočet sil

Výpočet vychází z postupu používaného firmou Primus dle [10] pro předběžné výpočty zatížení odpružených praček. Určuje se průběh zatížení a statická a dynamická složka síly působící na spodní rám. Výpočet zahrnuje základní důležité parametry, jako je tuhost pružin a koeficient tlumení tlumičů. Vychází se z předpokladu, že statická složka síly je úměrná hodnotě hmotnosti horní části pračky a dynamická složka je závislá na otáčkách bubnu a hmotnosti prádla, které není rovnoměrně rozloženo v bubnu pračky a tím vzniká tzv. nevývažek prádla. Jako nevývažek se pro výpočty počítá s 20% jmenovité náplně prádla. Tato metoda a jí dosažené výsledky jsou použity na kontrolu napětí a deformací u předběžných návrhů rámu. Hodnoty potřebné k výpočtům jsou uvedeny níže nebo v tab. 1. Značení a postup je proveden dle [8] a [18], tak aby byl výpočet srozumitelný a odpovídal obecně používanému značení.

Hodnoty potřebné k výpočtu:

Hmotnost stroje bez náplně:	$m_s = 160 \text{ kg}$
Hmotnost odpružené části:	$m_{odb} = 105 \text{ kg}$
Otáčky bubnu při odstředování:	$n_o = 1200 \text{ min}^{-1}$
Radiální poloha nevývažku:	$p_{nev} = 0,8$
Tuhost odpružení jedné pružiny:	$k_{p1} = 5000 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$
Součinitel viskózního tlumení jednoho tlumiče:	$b_{t1} = 240 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$
Počet použitých pružin:	$n_p = 4$
Počet použitých tlumičů:	$n_t = 4$

Výpočet zatížení:

Nejprve je určena hmotnost nutná k výpočtu sil v rámu. Pomocí základních vztahů pro kmitání je vypočtena vlastní úhlová rychlost, úhlová rychlost a součinitele tlumení a odpružení atd., které byly použity pro výpočet sil v rámu.

Výpočtová hmotnost náplně:

$$m_n = m_{nz} + 0,6 \cdot m_{nz} = 7,5 + 7,5 \cdot 0,6 = 12 \text{ kg} \quad (3.1)$$

Hmotnost nevývažku prádla:

$$m_{nev} = 0,2 \cdot n_{nz} = 0,2 \cdot 7,5 = 1,5 \text{ kg} \quad (3.2)$$

Hmotnost odpružené části pračky:

$$m_{o\check{c}} = m_{odb} + m_n = 105 + 12 = 117 \text{ kg} \quad (3.3)$$

Celková hmotnost stroje s náplní:

$$m_{sc} = m_s + m_n = 160 + 12 = 172 \text{ kg} \quad (3.4)$$

Frekvence dynamického zatížení:

$$f = \frac{n_o}{60} = \frac{1200}{60} = 20 \text{ Hz} \quad (3.5)$$

Úhlová rychlost:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 20 = 125,66 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (3.6)$$

Poloměr nevývažku:

$$r_{nev} = \frac{d_b}{2} \cdot p_{nr} = \frac{0,53}{2} \cdot 0,8 = 0,212 \text{ m} \quad (3.7)$$

Celková tuhost odpružení:

$$k_c = n_p \cdot k_{p1} = 4 \cdot 5000 = 20000 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \quad (3.8)$$

Součinitel celkového viskózního tření:

$$b_c = n_t \cdot b_{t1} = 4 \cdot 240 = 960 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad (3.9)$$

Půdorys stroje:

$$S_p = a \cdot b = 0,66 \cdot 0,685 = 0,452 \text{ m}^2 \quad (3.10)$$

Vlastní úhlová rychlost:

$$\Omega_o = \left(\frac{k_c}{m_{o\check{c}}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{20000}{117} \right)^{\frac{1}{2}} = 13,07 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (3.11)$$

Součinitel kritického tlumení:

$$b_{kr} = 2 \cdot m_{o\check{c}} \cdot \Omega_o = 2 \cdot 117 \cdot 13,07 = 3058,38 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad (3.12)$$

Koeficient dozívání:

$$\delta = \frac{b_c}{2 \cdot m_{o\check{c}}} = \frac{960}{2 \cdot 117} = 4,10 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (3.13)$$

Poměrný útlum:

$$b_p = \frac{\delta}{\Omega_o} = \frac{b_c}{b_{kr}} = \frac{960}{3058,38} = 0,31 \quad (3.14)$$

Vlastní úhlová rychlost s vlivem tlumení:

$$\Omega_{ot} = \Omega_o \cdot \sqrt{1 - b_p^2} = 13,07 \cdot \sqrt{1 - 0,31^2} = 12,43 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (3.15)$$

Součinitel naladění:

$$s_n = \frac{\omega}{\Omega_{ot}} = \frac{125,66}{12,43} = 10,11 \quad (3.16)$$

Síly působící na rám se rozdělují na statickou a dynamickou složku zatížení. Dynamická složka F_a je vypočtena dle vztahu (3.18) ze síly odstředivé, kterou způsobuje nevývažek prádla. Statická složka zatížení F_s je určena hmotností horní části pračky s rovnoměrně rozloženým prádlem v bubnu. Ze získaných hodnot se sestaví cyklus zatížení během jednoho otočení bubnu.

Odstředivá síla nevývažku:

$$F_{od} = m_{nev} \cdot r_{nev} \cdot \omega^2 = 1,5 \cdot 0,212 \cdot 125,66^2 = 5021,36 \text{ N} \quad (3.17)$$

Statická síla:

$$F_s = m_{sc} \cdot g = 172 \cdot 9,81 = 1687,32 \text{ N} \quad (3.18)$$

Amplituda dynamické síly:

$$F_a = F_{od} \cdot \sqrt{\frac{1 + (2 \cdot b_p \cdot s_n)^2}{(1 - s_n^2)^2 + (2 \cdot b_p \cdot s_n)^2}}$$
$$F_a = 5021,36 \cdot \sqrt{\frac{1 + (2 \cdot 0,31 \cdot 10,11)^2}{(1 - 10,11^2)^2 + (2 \cdot 0,31 \cdot 10,11)^2}} = 314,31 \text{ N} \quad (3.19)$$

Cyklus zatížení během otáčení:

Počet otáček za sekundu:

$$n_{os} = \frac{n_o}{60} = \frac{1200}{60} = 20 \text{ s}^{-1} \quad (3.20)$$

Perioda kmitu:

$$T = \frac{1}{n_{os}} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ s} \quad (3.21)$$

Střední hodnota kmitu:

$$F_m = F_s = 1687,32 \text{ N} \quad (3.22)$$

Dolní mezní hodnota kmitu:

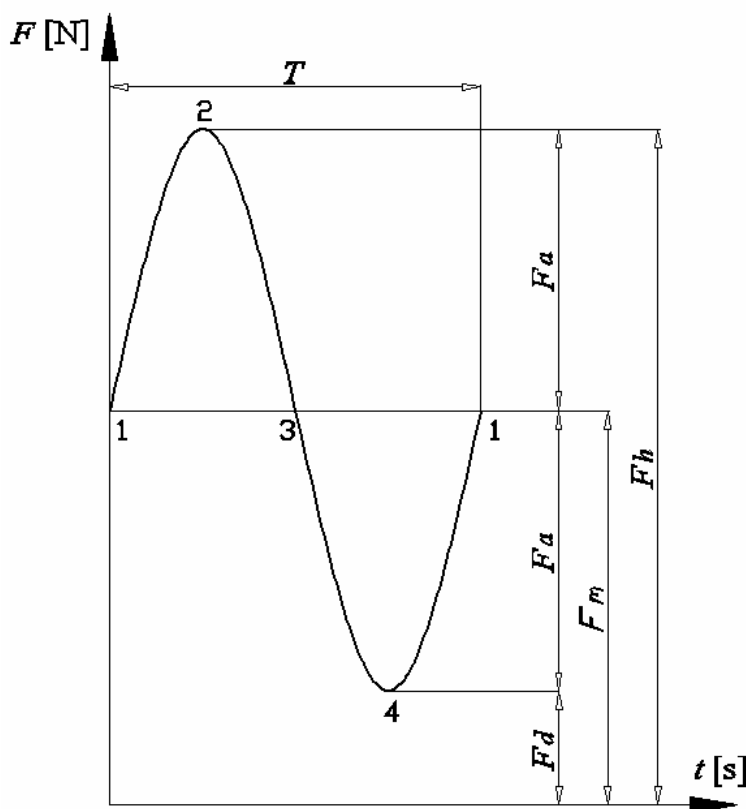
$$F_d = F_m - F_a = 1687,32 - 314,31 = 1373,01 \text{ N} \quad (3.23)$$

Horní mezní hodnota kmitu:

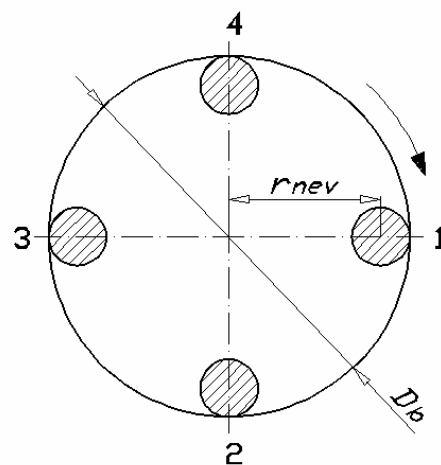
$$F_h = F_m + F_a = 1687,32 + 314,31 = 2001,63 \text{ N} \quad (3.24)$$

Zobrazení kmitu během jednoho otočení bubnu pračky:

Jedná se o pulzující zatížení (viz. obr. 23) kdy dynamická složka F_a kmitá kolem konstantní statické složky F_m . Jejich hodnoty jsou vypočteny ve vzorcích (3.19) a (3.22). Významné hodnoty, které vznikají během otáčení bubnu, jsou zobrazeny na obr. 24. číslicemi 1 až 4.



Obr. 23 Zátěžný cyklus

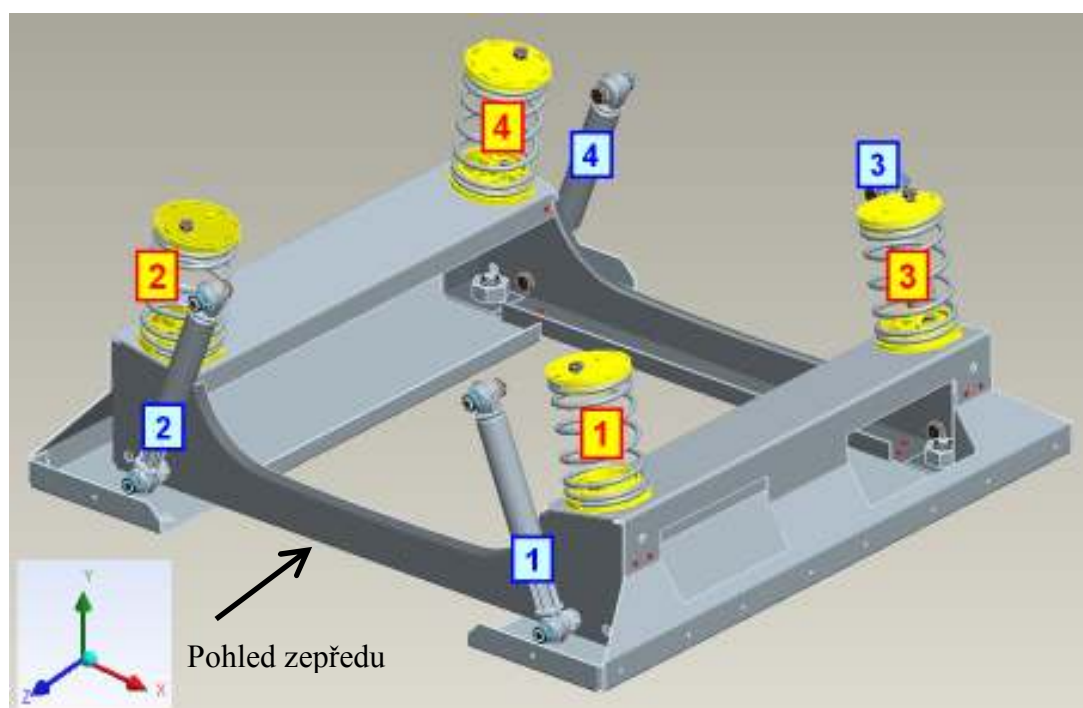


Obr. 24 Místa cyklu při rotaci bubnu

Vypočtená hodnota horního napětí σ_h je použita k předběžné statické kontrole spodního rámu. Kontrola rozložení sil a určení zátěžného cyklu byla ověřena v programu Excel [27]. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v příloze na CD ve formátu Excel 2003. Cyklus zatížení je sestaven dle základních poznatků převzatých z [3].

3.1.2. Měření zatížení spodního rámu PLOF

Jedná se o měření provedené firmou Primus na zkušebním rámu PLOF. Veškeré záznamy a hodnoty jsou převzaty z [10]. Z tohoto měření se nadefinuje výpočtový cyklus zatížení rámu s největší výslednou hodnotou síly působící na spodní rám, který se použije k pevnostní kontrole vybraného finálního rámu v kapitole 3.2. Zatížení při maximálních otáčkách je bráno jako nejhorší možné a proto bude použito k výpočtu cyklu napětí v rámu a následné životnosti. Naměřené hodnoty jsou převedeny z programu Adams, který firma Primus pro tyto účely používá, do programu Excel [27], ve kterém jsou vyhodnoceny grafy zobrazené níže. Měření bylo provedeno jako záznam sil v tlumičích a pružinách v závislosti na čase při náběhu pračky na maximální otáčky. Průběhy naměřených hodnot všech čtyř tlumičů a pružin jsou zobrazeny v jednom grafu pro jednotlivé osy souřadného systému. Způsob číselného označení jednotlivých pružin a tlumičů je zobrazen na obr. 25, kde je též zobrazen souřadný systém použitý při měření. Vzdálenost, na kterou bude aplikován výsledný cyklus zatížení při pevnostní kontrole, je uvedena na obr. 26.



Obr. 25 Rám PLOF s číselným značením tlumičů a pružin



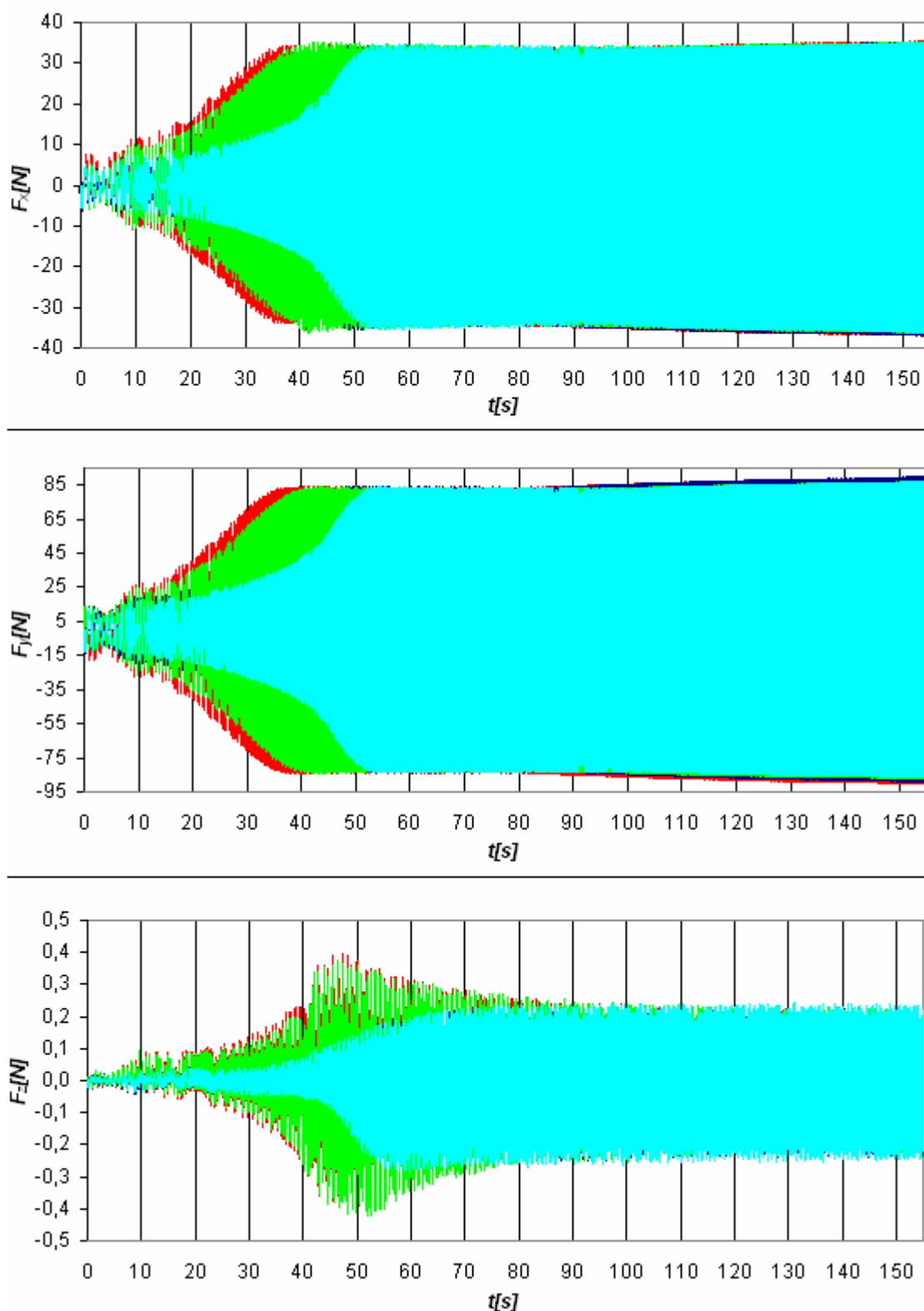
Obr. 26 Vzdálenost působisté síly tlumiče od stěny rámu

Popis vyhodnocení měření:

Záznam naměřených sil v jednotlivých osách souřadného systému je uveden na obr. 27. První graf zobrazuje průběh hodnot sil jednotlivých tlumičů v ose X, druhý v ose Y a třetí v ose Z. Z grafu je patrný rozběh otáček bubnu z klidu na maximální hodnotu, na které se drží až do konce měření. Celý záznam trvá 155 sekund a je uveden v souboru z programu Excel [27] na přiloženém CD.

Na obr. 28 je zobrazen průběh sil v jednotlivých tlumičích ve vybraném časovém úseku. Průběh je uveden pouze pro záznam sil v ose X a Y. Hodnoty ze záznamu v ose Z se zanedbávají, jelikož se blíží nule a proto nejsou uvažovány ani při pevnostní kontrole v kapitole 3.2.

Pozn.: Uvedený vybraný průběh zatížení z obr. 28 není použit k definici výpočtového zatížení rámu, ale slouží pouze pro upřesnění průběhu sil v tlumičích.



Obr. 27 Výsledný záznam sil působících na tlumiče v čase

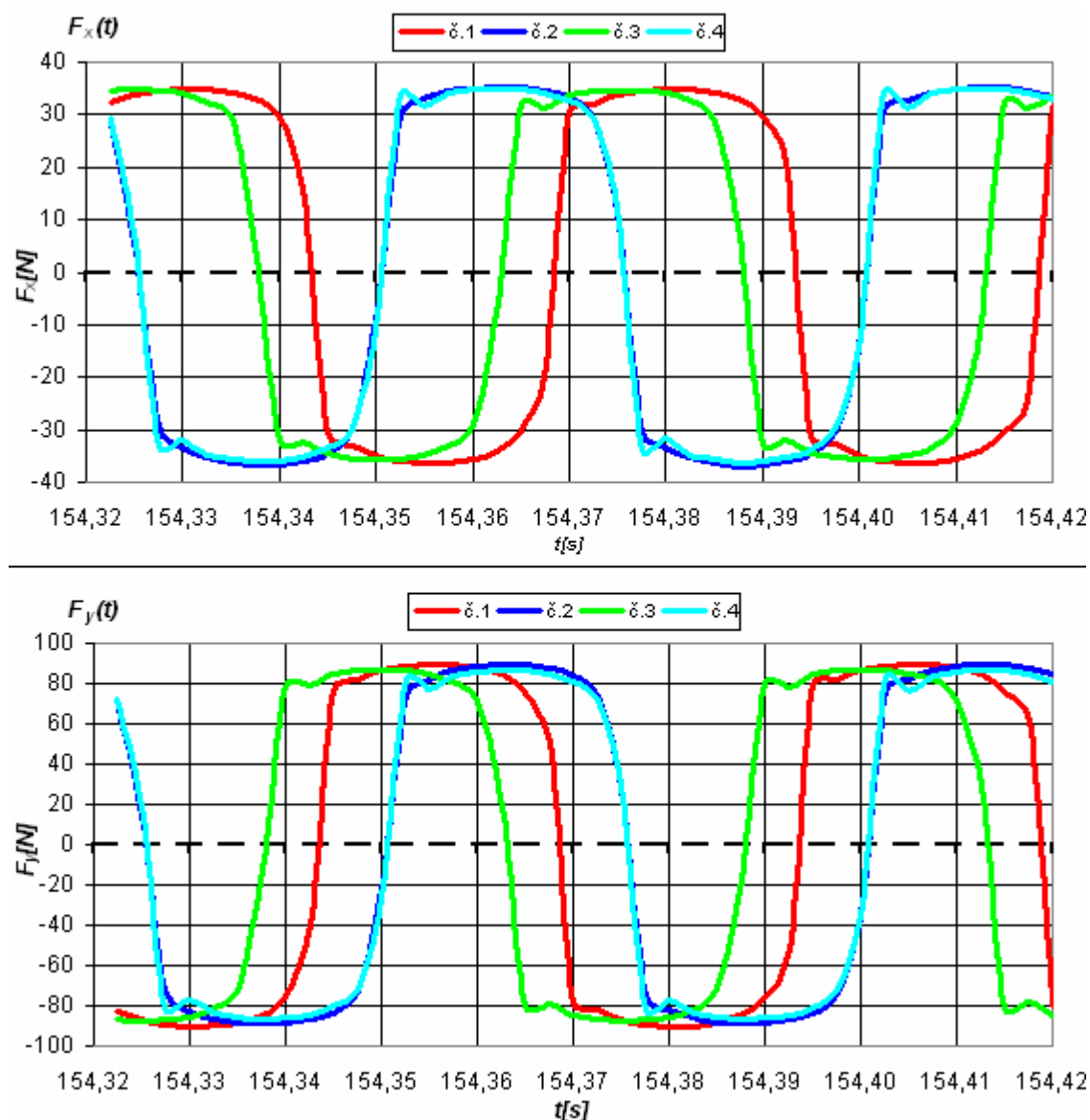
Barevné rozlišení grafu:

tlumič č. 1 červená

tlumič č. 2 tmavě modrá

tlumič č. 3 světle zelená

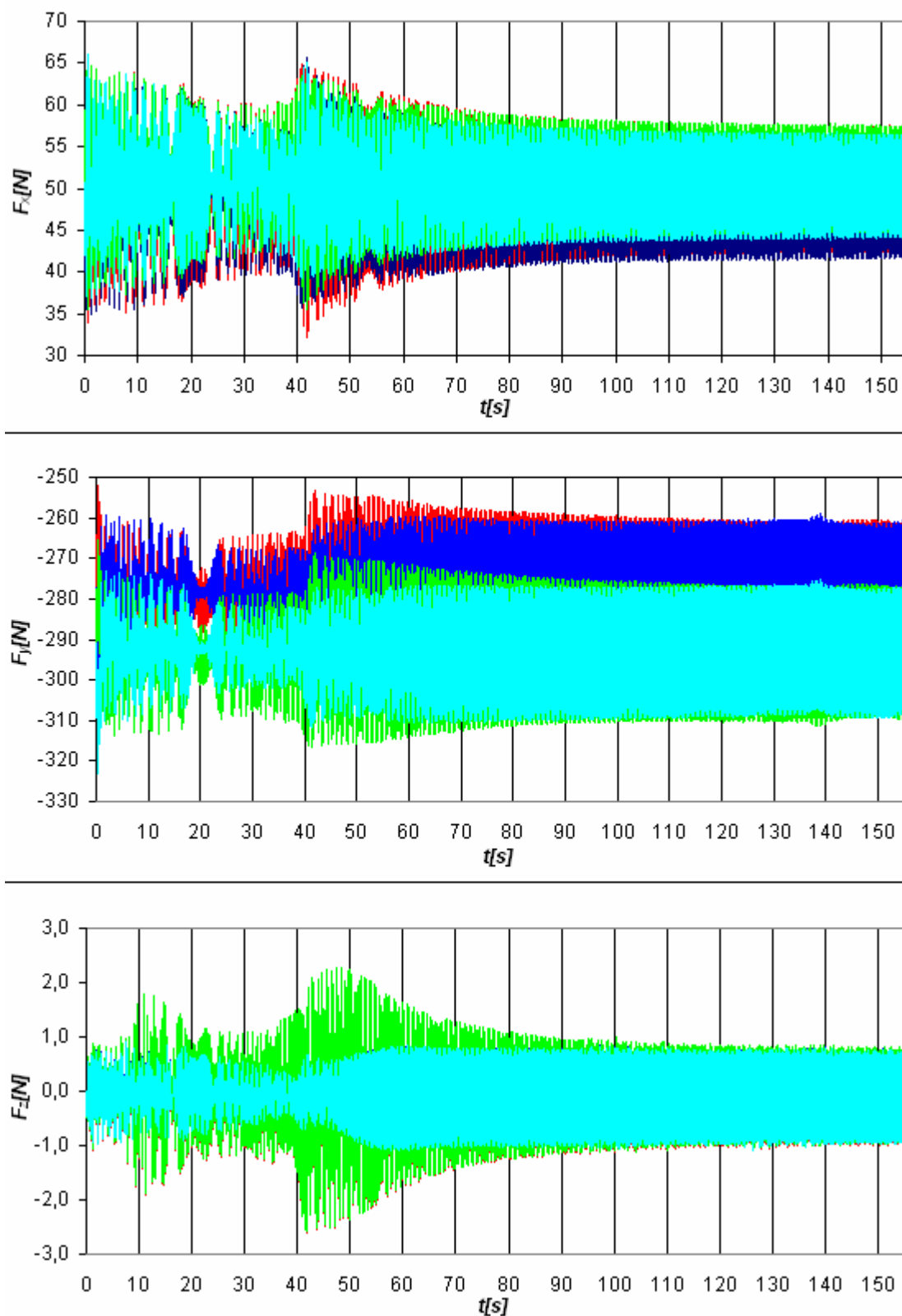
tlumič č. 4 světle modrá



Obr. 28 Cyklus zatížení jednotlivých tlumičů

Jak je patrné z obr. 28, jedná se o souměrně střídavý průběh zatížení. Z toho plyne, že střední hodnota F_m zatížení jednotlivých tlumičů je rovna nule (na obrázku čárkovanou čarou) a mění se pouze amplituda F_a . Dále je patrné fázové posunutí jednotlivých průběhů v čase o určitou hodnotu Δt . To je zřejmě způsobeno nerovnoměrným rozložením zatížení na jednotlivé tlumiče, které může být zapříčiněno např. špatným ustavením horní části, špatnou konstrukcí rámu, atd. Hodnoty, ze kterých je průběh sestaven, jsou uvedeny v příloze A.

Následující grafy na obr. 29 zobrazují průběh sil během měření v jednotlivých pružinách pro všechny osy souřadného systému. Ze záznamu je patrné, že jsou více zatíženy pružiny v zadní části pračky. Na obr. 30 je uveden průběh zatížení pružin v osách X a Y ve zvoleném časovém úseku.

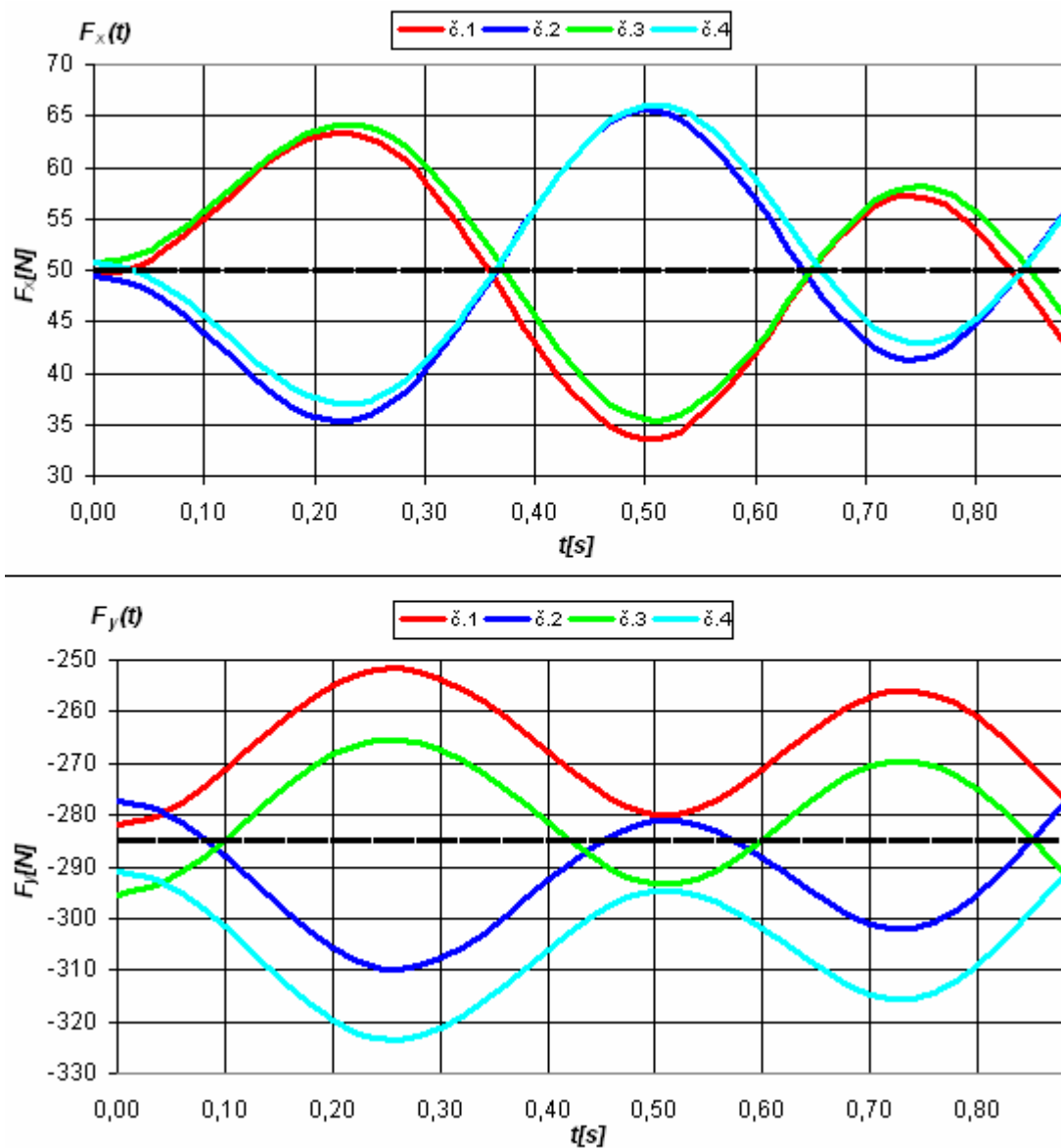


Obr. 29 Výsledný záznam sil působících na pružiny

Barevné rozlišení grafů:

pružina č. 1 červená
pružina č. 2 tmavě modrá

pružina č. 3 světle zelená
pružina č. 4 světle modrá

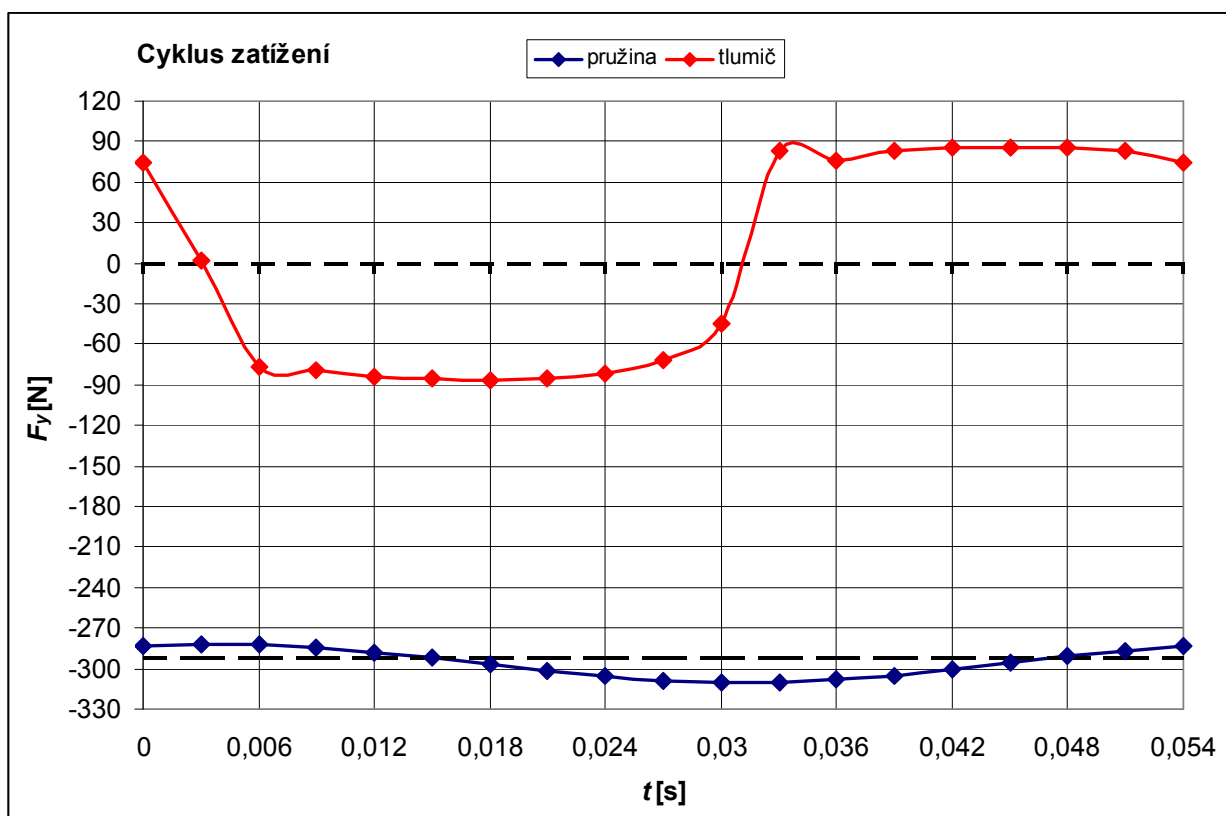


Obr. 30 Cyklus zatížení jednotlivých pružin

Jak je patrné z obr. 30, jedná se o pulzující průběh zatížení. Kolem střední hodnoty F_m symbolizující statickou složku zatížení, pulzuje amplituda F_a , symbolizující dynamickou složku zatížení. Dále je patrné, že se střídavě zatěžují jednotlivé strany pračky v závislosti na poloze bubnu během otáčení. Hodnoty, ze kterých je průběh sestaven, jsou uvedeny v příloze B.

Definice výpočtového zatížení rámu

Z průběhu sil v jednotlivých pružinách a tlumičích, uvedených v grafech obr. 27 a obr. 29, byl vybrán výpočtový cyklus zatížení, který byl použit k pevnostní kontrole v kapitole 3.2. Cyklus byl vybrán tak, že bylo nalezeno takové místo záznamu, kde byly maximální hodnoty sil v tlumičích a zároveň maximální hodnoty sil v pružinách a to vždy v ose Y. Takovýto cyklus je uvažován jako nejhorší možný. Vybraný výpočtový cyklus zatížení je zobrazen na obr. 31.



Obr. 31 Vybrané cykly zatížení

Z grafu je patrné, že je nutné uvažovat při zatížení rámu dva různé průběhy sil, které jsou vůči sobě posunuty o hodnotu $\Delta t = 0,012$ sekundy. Střední hodnoty jednotlivých průběhů jsou zobrazeny čárkovanou čarou. Průběh sil v pružině je na grafu označen tmavě modrou barvou a průběh tlumiče barvou červenou. Jednotlivé hodnoty těchto cyklů, které si odpovídají na časové ose, jsou uvedeny v tabulce tab. 2 pro osy X a Y. Těmito hodnotami je zatížen rám v kapitole 3.2 při pevnostní kontrole. Hodnoty pružiny jsou umístěny na horní část rámu a hodnoty tlumičů na boční stěnu příčnicku viz. obr. 26.

Tab. 2 - Hodnoty jednotlivých bodů výpočtového cyklu zatížení

označení	t [s]	pružina		tlumič	
		F_x [N]	F_y [N]	F_x [N]	F_y [N]
1	0	45,63	-282,81	-30,77	74,65
2	0,003	48,02	-282,13	31,25	-76,79
3	0,006	49,67	-284,21	32,03	-79,10
4	0,009	51,38	-287,69	34,06	-84,41
5	0,012	52,97	-292,12	34,60	-85,88
6	0,015	54,26	-296,99	34,71	-86,11
7	0,018	55,12	-301,76	34,34	-84,97
8	0,021	55,44	-305,86	33,22	-81,84
9	0,024	55,21	-308,84	29,25	-71,67
10	0,027	54,45	-310,32	18,36	-44,70
11	0,030	51,76	-308,35	-31,52	75,96
12	0,033	50,16	-305,12	-34,69	83,32
13	0,036	48,63	-300,80	-35,49	85,15
14	0,039	47,34	-295,89	-35,70	85,72
15	0,042	46,45	-290,91	-35,32	85,07
16	0,045	46,07	-286,41	-34,32	83,04
17	0,048	46,25	-282,92	-30,77	74,89
18	0,051	46,99	-280,83	-32,73	80,19
19	0,054	48,20	-280,41	28,54	-70,40

Zatěžovací cykly z obr. 31 je tedy možno považovat za harmonické zatížení definované střední hodnotou F_m a amplitudou cyklu F_a . Střední hodnoty pružiny F_{mp} a tlumiče F_{mt} byly získány jako průměrné hodnoty sil v ose Y z grafu na obr. 31. Amplitudy jsou pak vypočteny jako rozdíl maximálních hodnot záznamů z vybraného úseku a vypočtených středních hodnot. Získané hodnoty jsou pak násobeny počtem tlumičů a pružin, tak aby bylo získáno celkové zatížení působící na rám. U výpočtu se neuvažuje záporné znaménko, které pouze určuje směr působení síly vůči souřadnému systému

Celková střední hodnota zatížení:

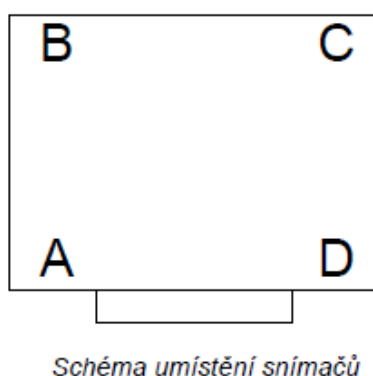
$$F_m = 4 \cdot (F_{mp} + F_{mt}) = 4 \cdot \left(\frac{\sum F_{yip}}{n_i} + \frac{\sum F_{yit}}{n_i} \right) = 4 \cdot \left(\frac{5614,9}{19} + \frac{37,28}{19} \right) = 1190 \text{ N} \quad (3.25)$$

Celková amplituda zatížení:

$$F_a = 4 \cdot (F_{y \max p} - F_{mp} + F_{y \max t} + F_{mt}) = 4 \cdot (310,3 - 295,5 + 86,1 - 2) = 395,6 \text{ N} \quad (3.26)$$

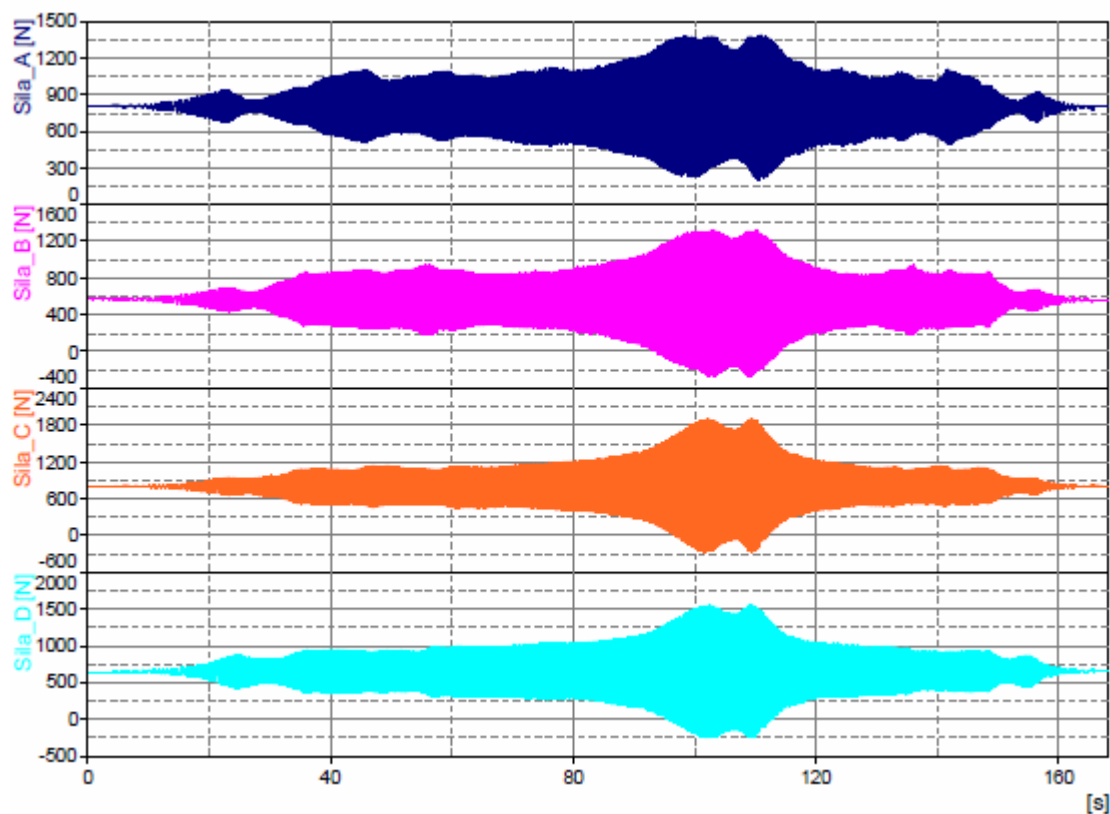
3.1.3. Měření sil do základu

Pro ověření platnosti a správnosti analytického výpočtu zatížení a hodnot z předchozího měření jsem využil měření, které bylo provedeno doc. Foltou na žádost firmy Primus na předchozí verzi rámu. Veškeré hodnoty jsou přejaty z technické zprávy [17]. Měření bylo prováděno pomocí tenzometrických snímačů síly upevněných na spodní rám pračky v místech pro uchycení nohou. Označení jednotlivých míst při pohledu shora je na obr. 32. Přední část je na obrázku naznačena dvířky.

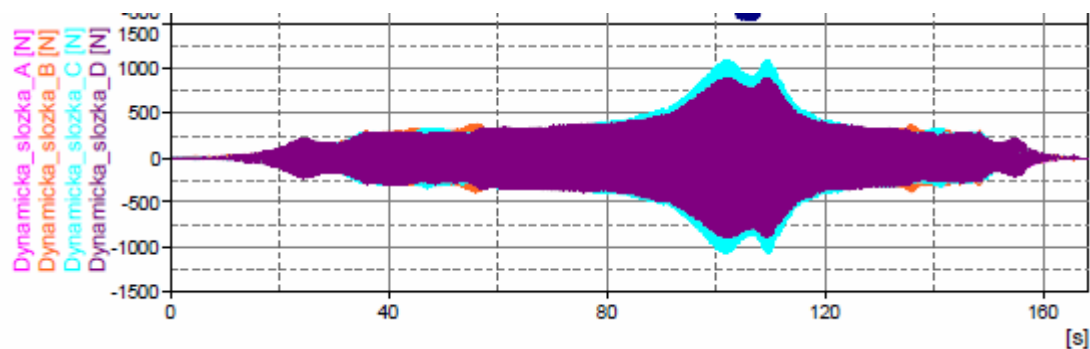


Obr. 32 - Rozmístění snímačů na pračce

Na obr. 33 je celý záznam měření, kde se vyhodnocuje statická složka zatížení pro jednotlivé nohy. Záznam měření, které obsahuje celý upravený (zkrácený) prací cyklus, je délky 165 sekund, kdy se střídají velikosti otáček, kterých se docílí během praní. Záznamy jsou provedeny tak, že snímače jsou vynulovány bez zatížení (při nadzvednuté pračce) a následně je pračka položena na snímače. Výchozí hodnota grafů na obr. 33 odpovídá statickému zatížení snímačů od hmotnosti pračky. Na obr. 34 je záznam dynamické složky zatížení pro jednotlivá měřená místa.



Obr. 33 - Graf naměřených hodnot



Obr. 34 - Záznam dynamických složek zatížení

Tab. 3 - Výsledné naměřené hodnoty v nohách a přepočtené pro pračku pro 7,5 kg

noha	naměřené hodnoty		přepočtené hodnoty	
	statická složka	dynamická složka	statická složka	dynamická složka
	[N]	[N]	[N]	[N]
A	803,0	498,5	602,3	373,9
B	564,8	709,3	423,6	532,0
C	801,7	1 023,2	601,3	767,4
D	649,1	770,6	486,8	578,0
celková složka	2818,6	3 001,6	2 114,0	2 251,2
průměrná hodnota	704,7	750,4	528,5	562,8

V případě výše uvedeného měření se jednalo o pračku FS10 pro 10 kg prádla a proto je proveden jednoduchý lineární přepočet na hodnotu 7,5 kg, tak aby bylo možno provést srovnání s měřením vyhodnoceným v kapitole 3.1.2. V tabulce tab. 3 jsou proto uvedeny původní i přepočtené hodnoty složek zatížení. Statická složka zde představuje střední hodnotu zatížení a dynamická složka amplitudu zatížení.

Přepočet sil:

Je proveden pomocí koeficientu určeného na základě srovnání hmotností náplně u jednotlivých praček.

Koeficient náplně:

$$k_n = \frac{m_n}{m_{nFS10}} = \frac{7,5}{10} = 0,75 \quad (3.26)$$

Přepočtená statická složka síly:

$$F_{spFS10} = k_n \cdot F_{sFS10} = 0,75 \cdot 2818,6 = 2114 \text{ N} \quad (3.27)$$

Přepočtená dynamická složka síly:

$$F_{apFS10} = \frac{k_n \cdot F_{aFS10}}{n_p} = 0,75 \cdot \frac{3001,6}{4} = 562,8 \text{ N} \quad (3.28)$$

3.1.4. Srovnání výsledků jednotlivých měření

Tabulka 4 obsahuje základní hodnoty určených cyklů. Střední hodnota síly zde charakterizuje statickou složku a amplituda dynamickou složku zatížení. Z tabulky je patrné, že teoretická část se od skutečného měření prakticky neliší. Naproti tomu měření na starém svařovaném rámu pračky je viditelně rozdílné. To je zřejmě způsobeno rozdílnou konstrukcí rámu, zbytku pračky nebo faktem, že měření je prováděno na nohách pračky a ne v pružinách a tlumičích.

Tab. 4 - Srovnání hodnot jednotlivých řešení

způsob měření	statická složka - F_s	dynamická složka - F_a	horní složka - F_h
	[N]	[N]	[N]
teoretický výpočet	1687	314	2002
měření na rámu PLOF	1190	396	1586
měření na starší pračce	2114	2251	4365

3.2. Návrh konstrukce rámu

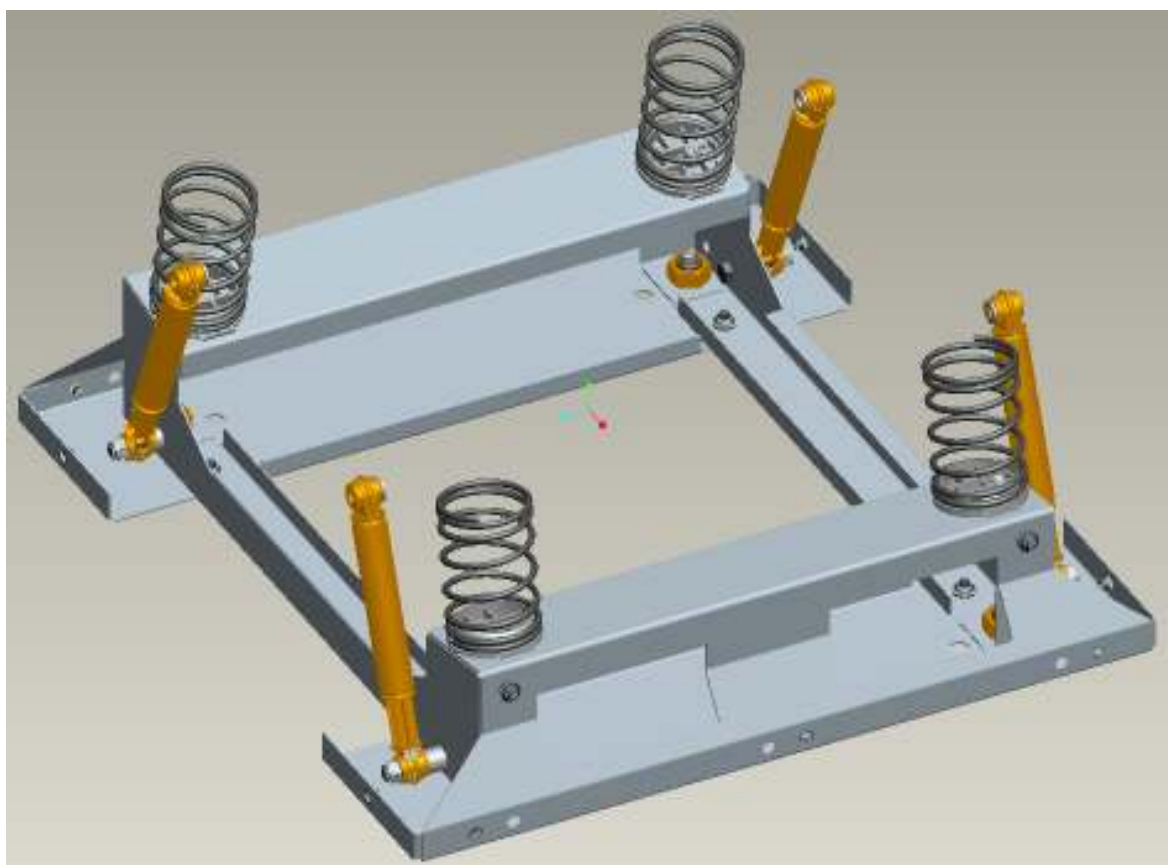
Je založen na návrhu základních dílů rámu, kterými jsou příčník a podélník. Ty se vyrábějí vystřihováním z plechu a následným ohýbáním a poté se zajišťuje jejich poloha za pomoci nýtových spojů. Zde provedený návrh řešení rámu vychází z experimentální konstrukce rámu PLOF. Cílem je, dle zadání firmy Primus, zjednodušení rámu a jeho následná kontrola. Základním požadavkem firmy primus je navrhnout rám s co nejlepší stabilitou při minimálních nákladech na výrobu. Návrh rámu je proveden v programu Ansys Workbench [26], kde je rám zatížen silami získanými v kapitole 3.1.2 tabulka 2. Výsledkem je průběh ekvivalentního napětí a deformací v rámu. Pro oblast maximálního ekvivalentního napětí je sestaven zátěžný cyklus, ze kterého se určí střední hodnota a amplituda napětí. Ty jsou použity k výpočtu bezpečnosti a predikaci životnosti rámu.

Výpočtový model je brán jako $\frac{1}{4}$ celého rámu, kdy se uvažuje rovnoměrné rozložení sil na všechny pružiny. Celý rám se všemi použitými prvky je zobrazen na obr. 35, kde je patrné naklonění pružin a tlumičů. Prvky jsou na obrázku pro přehlednost barevně rozlišeny. Popis použitých prvků je uveden v kapitole 3.3 nebo v příloze G.

Postup přípravy rámu na výpočet v programu Ansys Workbench [26] je popsán v Příloze C. Modely pro výpočty jsou vykonstruovány buďto v programu Pro/Engineer [23] nebo Inventor [25].

Materiál rámu:

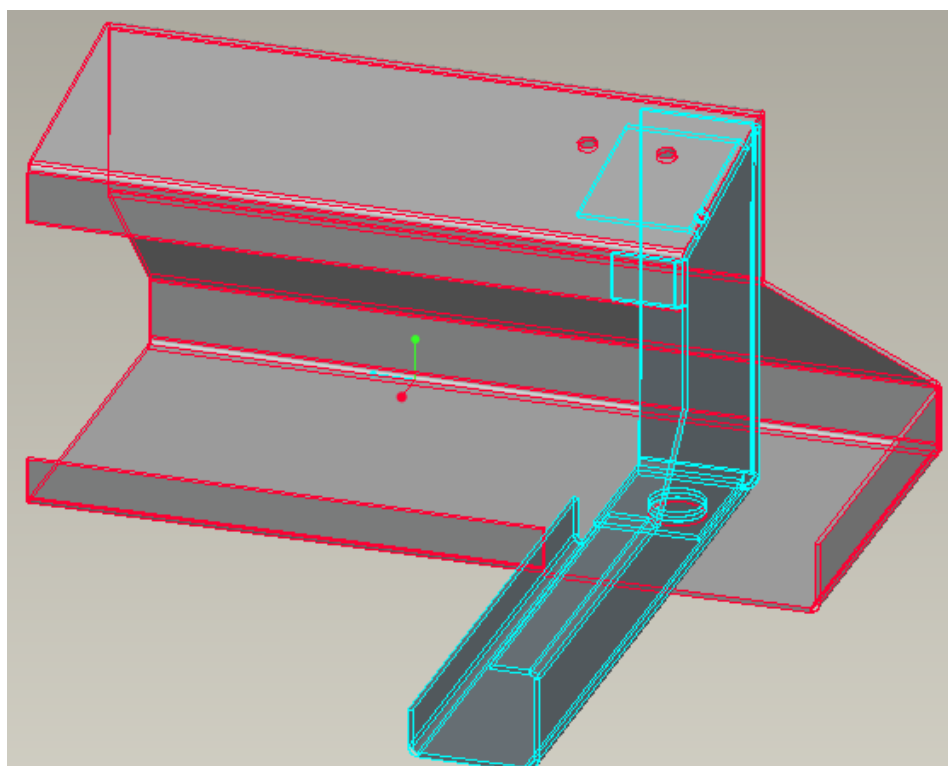
Jako materiál základních dílů rámu je použit pozinkovaný plech s tloušťkou dle velikosti pračky (2 mm pro pračku 75 l). Vlastnosti materiálu jsou uvedeny dle normy ČSN EN 10142. Mez pevnosti materiálu je $R_m = 368$ MPa a mez kluzu $R_e = 292$ MPa. Kopie atestu materiálu je uvedena v Příloze D. Ostatní informace o materiálu nutné k výpočtům jsou převzaty z [9] a [10].



Obr. 35 Základní rám se všemi použitými prvky

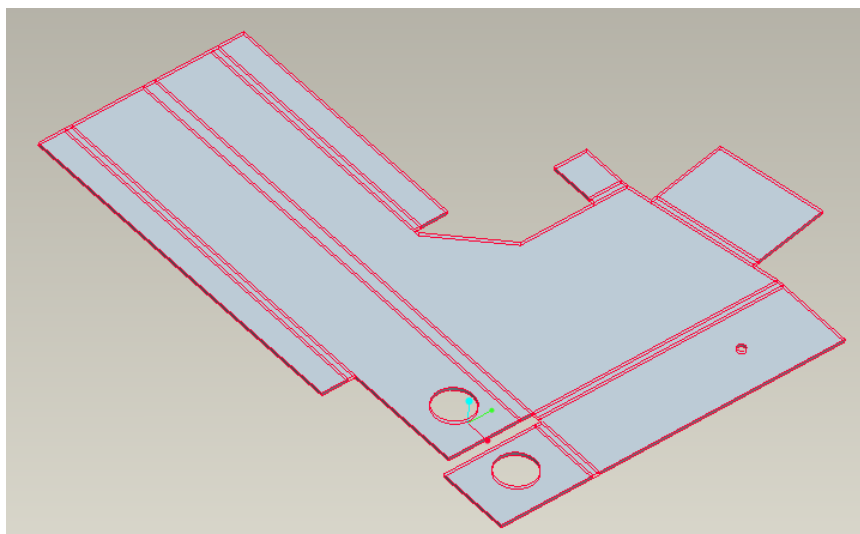
3.2.1. Rám PLOF

Jedná se o experimentální rám navržený firmou Primus pro novou sérii praček. Základní informace o tomto rámu jsou uvedeny v kapitole 2.6. Základní díly jsou vyrobeny z pozinkovaného plechu tloušťky 2 mm a spojeny pomocí šroubových a nýtových spojů. Základními operacemi při jejich výrobě je vystřihování a ohýbání. Uspořádání základních dílů rámu je zobrazeno na obr. 36, kde jsou navíc pro lepší pochopení způsobu upevnění dílů barevně vyznačené hrany a přechody. Červená barva vyznačuje hrany podélníku a světle modrá barva hrany příčnicku. Model byl nakreslen v programu Pro/Engineer [23].

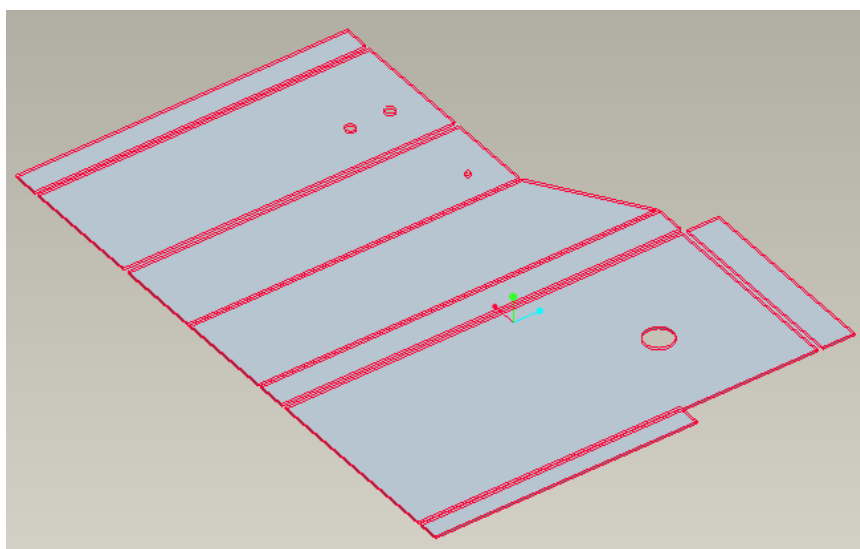


Obr. 36 Čtvrtinový model rámu PLOF s vyznačenými základními díly

Podélník i příčník jsou vyrobeny z plechu s mnoha ohyby. Jejich rozvin, který se dostane po vystřihování je zobrazen na obr. 37 a obr. 38. Cílem návrhu v kapitole 3.2.2 je zjednodušení tohoto základního tvaru nebo jeho změna, při zachování ploch nutných k nesení prvků spodního rámu.



Obr. 37 Tvar výstřižku příčniku rámu PLOF

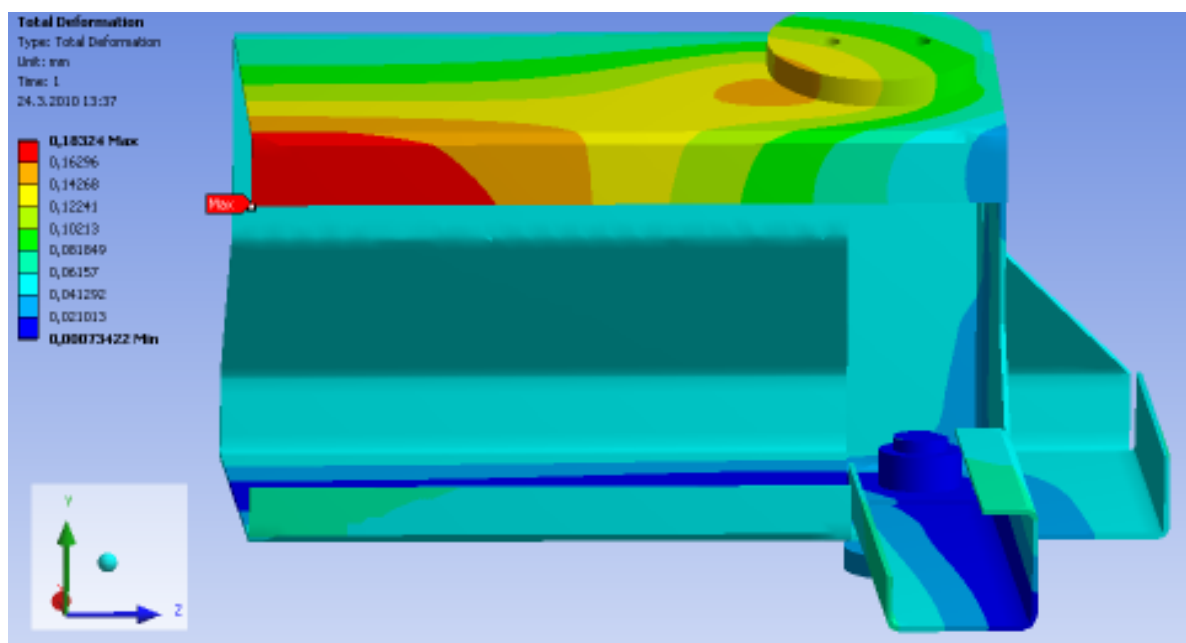


Obr. 38 Tvar výstřižku podélníku rámu PLOF

Dosažené výsledky metodou MKP:

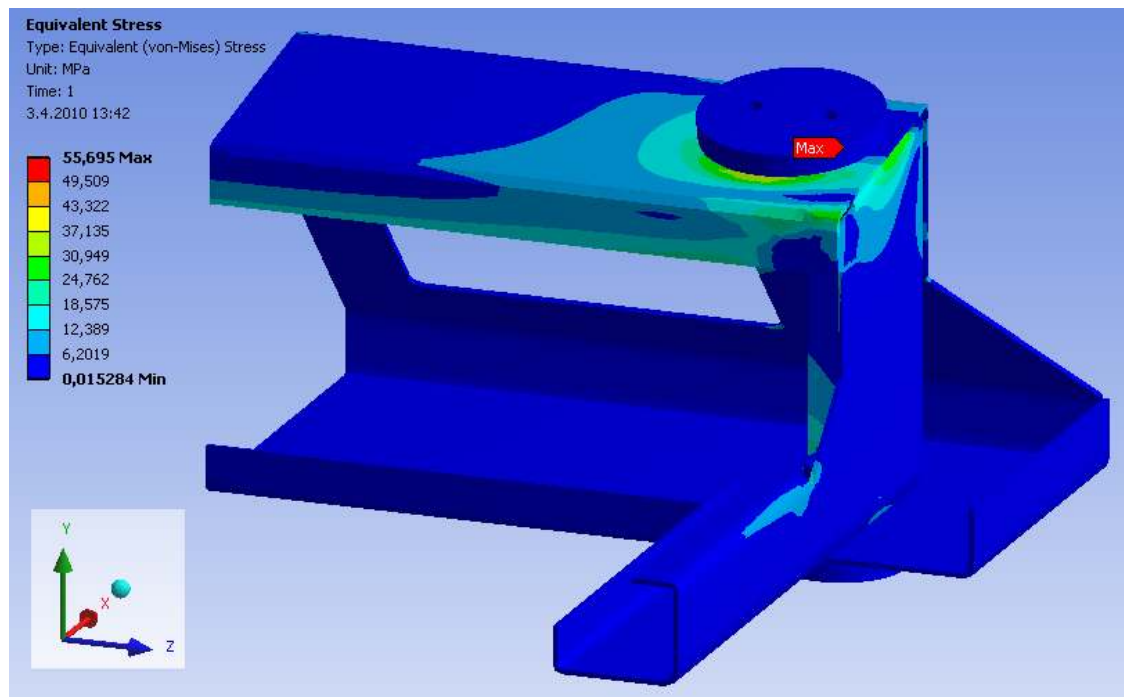
Výsledné průběhy deformací a napětí jsou získány z provedených analýz v programu Ansys Workbench [26] za pomoci metody konečných prvků. Na obr. 39 je vidět průběh rozložení deformací v rámu. Největší průhyb o velikost $\varepsilon = 0,18\text{ mm}$ vzniká v oblasti středu podélníku, jelikož se v tomto místě nachází nejdelší plocha pod zatížením. Rám je zatížen pomocí teoretických hodnot získaných v kapitole 3.1.1. Tento způsob byl vybrán záměrně ke kontrole všech počátečních návrhů, aby bylo možné jednotlivé dosažené výsledky porovnávat. Výpočtový model se skládá z příčnicku, podélníku, nohy a nylonové podložky pružiny, na kterou je aplikováno uvedené zatížení.

Kritické oblasti s maximálními hodnotami se na obrázcích zobrazují červenou barvou. Jak se hodnota snižuje, přechází barva přes oranžovou, žlutou a zelenou až na barvu modrou, která značí oblasti minimálních dosažených hodnot. Hodnoty deformací jsou na obrázcích zobrazeny v [mm] a hodnoty napětí v [MPa].

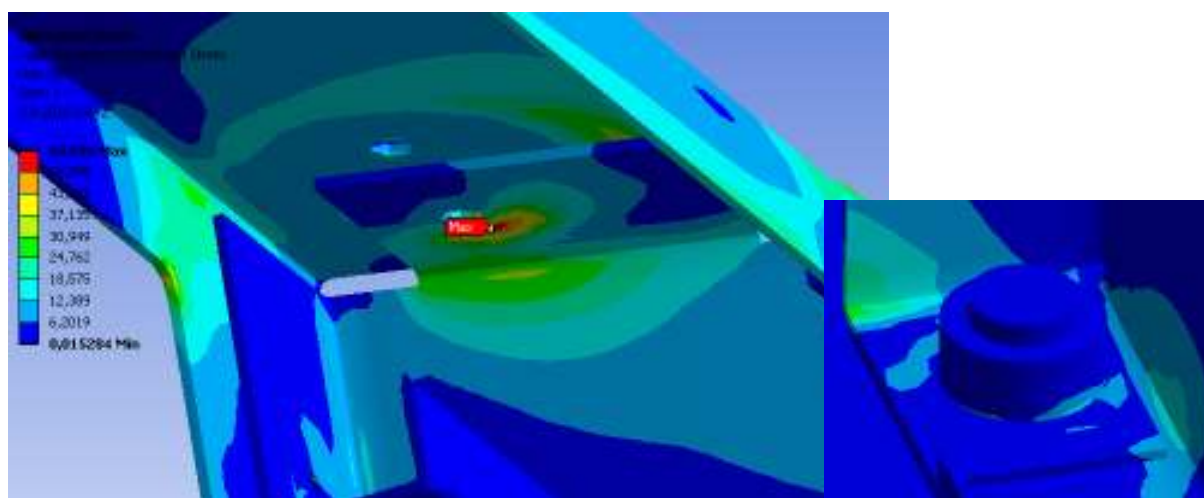


Obr. 39 Celkové deformace rámu PLOF

Na obr. 40 je zobrazen průběh redukovaného napětí v rámu za pomoci metody HMM. Oblasti důležitých koncentrací napětí jsou uvedeny na obr. 45. Z něj je patrné, že oblast napětí s maximální hodnotou $\sigma_{HMM \max} = 55,7 \text{ MPa}$ je umístěno na nosné ploše příčnicku pod podložkou pružiny. Další oblasti koncentrace napětí jsou např. v oblasti konstrukčního odlehčení (35,9 MPa) nebo v místě přechodu v dolní části příčnicku (27,2 MPa) viz. obr. 41 vpravo.



Obr. 40 Ekvivalentní napětí dle metody HMM



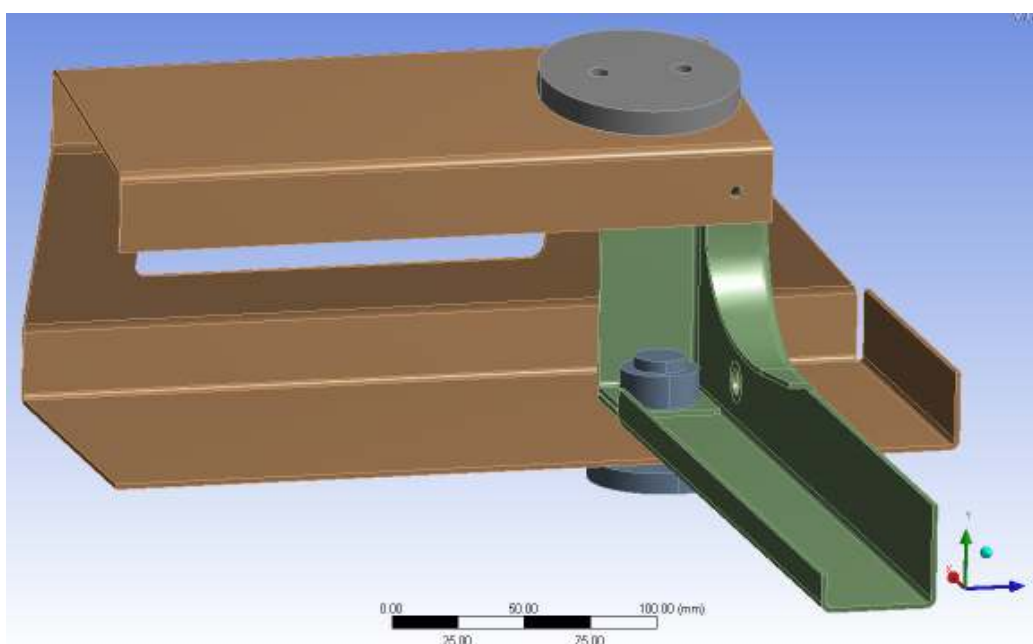
Obr. 41 Oblasti největších koncentrací napětí

3.2.2. Finální řešení rámu

Vychází spíše z rámu PLOF než z ostatních zkoušených řešení uvedených v Příloze E, jelikož je zde snaha o zachování základu navrženého firmou Primus. Navíc, i když některá navržená řešení, vykazovaly lepší dosažené výsledky než rám PLOF, byla bohužel složitější, a proto nesplňovala základní podmínky, kterými jsou jednoduchost a cena.

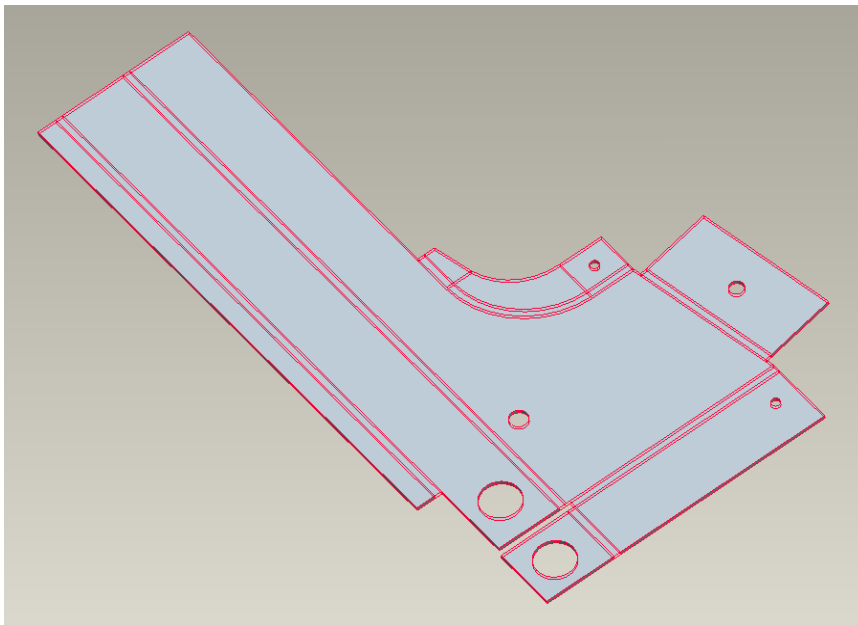
Rozdílem finálního řešení rámu oproti rámu PLOF je několik konstrukčních úprav. Prvním je změna některých základních rozměrů na příčnίκu a podélníku. Dále je to prodloužení a snížení záhybu v dolní části příčnίκu, který slouží ke zpevnění konstrukce. Prodloužení záhybu, který slouží k nesení předního nýtu, až do dolní části příčnίκu. Posunutí konstrukční odlehčení směrem od oblasti koncentrace napětí. U tohoto návrhu jsou použity všechny spojovací části jako u rámu PLOF. Jsou to tři nýtové spoje a dvě šroubová spojení. Navržený finální rám je zobrazen na obr. 42. Je zde pro srovnání s rámem PLOF použito stejné teoretické zatížení jen v horní části na podložku pružiny (níže označené jako a)). Dále je zde použito skutečné zatížení, kdy se zadávají vybrané hodnoty pružiny a tlumiče z kapitoly 3.1.2 (níže označené jako b)) na skutečná místa jejich umístění. Z takto získaných hodnot se v závěru kapitoly sestaví cyklus napětí v rámu, který se použije k výpočtu bezpečnosti a životnosti v kapitole 4.

Pozn.: Sestava navrženého rámu je uvedena ve výkresové dokumentaci a v příloženém CD ve formátu programu AutoCad [25].

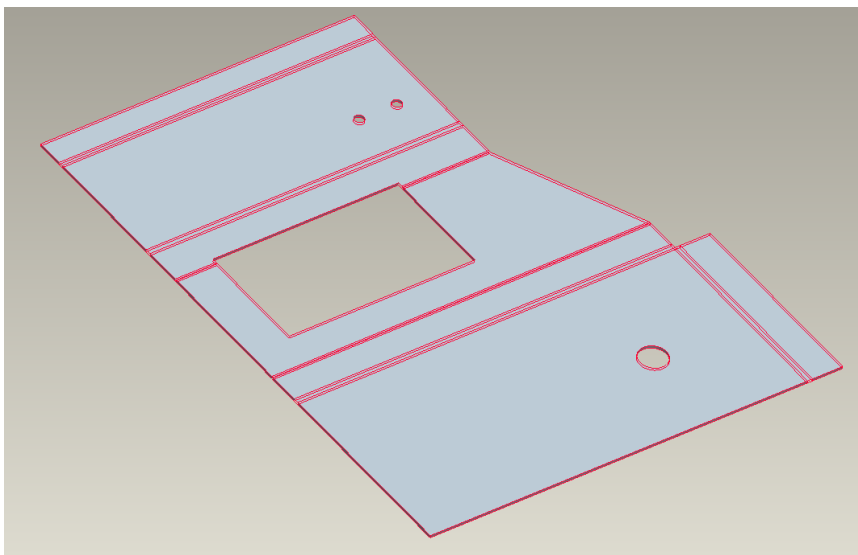


Obr. 42 Výpočtový model finálního řešení rámu

Na obr. 43 a obr. 44 jsou výstřižky hlavních dílů finálního rámu, které slouží pro zobrazení provedených změn vůči původnímu rámu PLOF. Na obrázcích jsou zobrazeny otvory, hrany a místa ohybů červenou barvou.



Obr. 43 Tvar výstřižku příčnicku finálního rámu

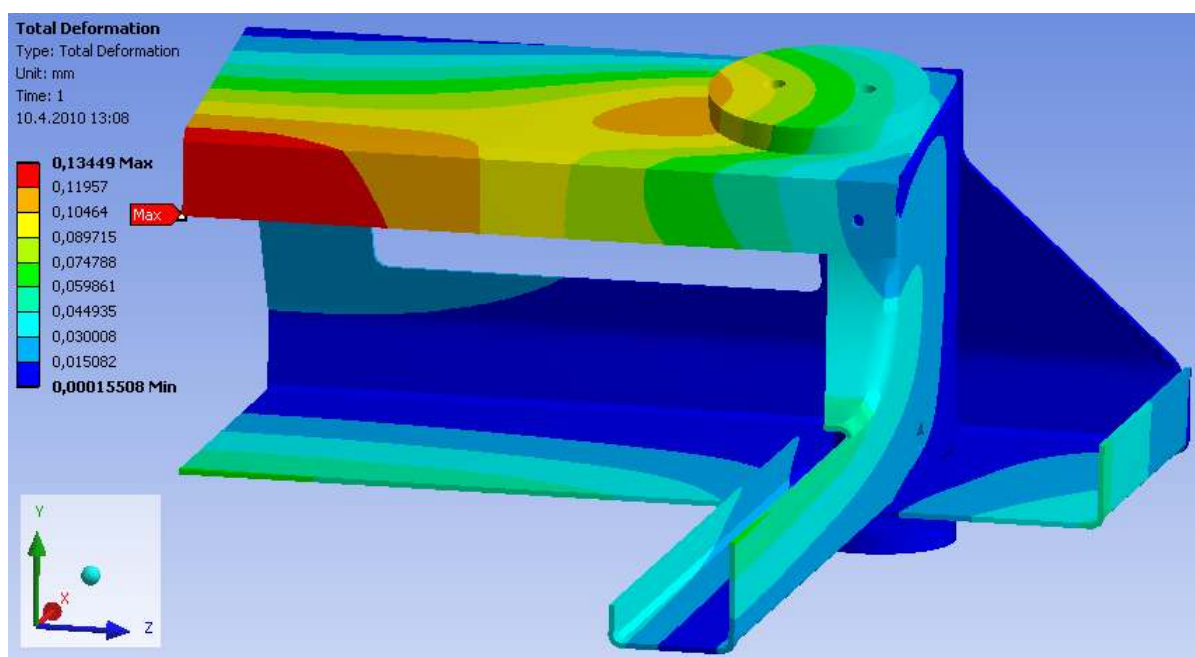


Obr. 44 Tvar výstřižku podélníku finálního rámu

a) Zatížení rámu dle teoretických výpočtů

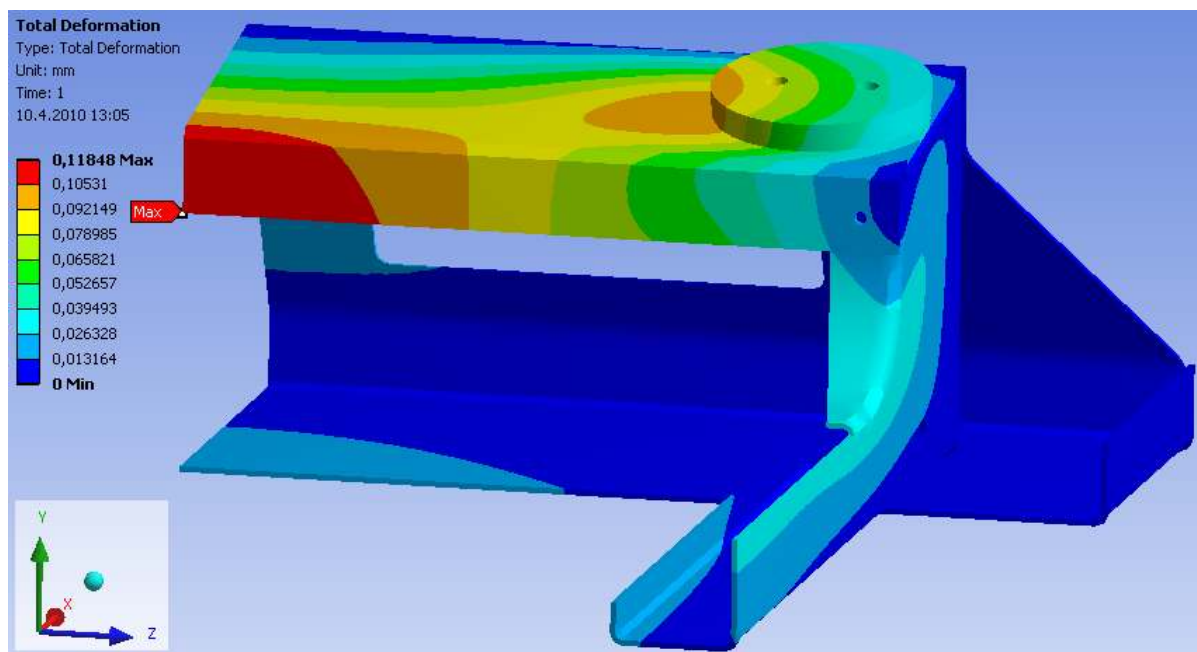
Je provedeno za pomoci teoretických výpočtů z kapitoly 3.1.1. Zatížení je umístěno do horní části rámu na nylonovou podložku. Tento způsob řešení je zde uveden, jelikož slouží ke srovnání výsledků navrženého finálního rámu a rámu PLOF. Analýzy rámu jsou provedeny v programu Ansys Workbench [26] metodou konečných prvků. První uvedená analýza je provedena pro rám, který je postaven na noze. Druhá analýza popisuje rám připevněný napevno k zemi za pomoci šroubu. Z obou analýz se vybere horší varianta z hlediska velikosti působícího redukovaného napětí a použije se v bodě b) ke kontrole rámu za pomoci skutečného zatížení.

Na obr. 45 je zobrazen průběh deformací pro daný způsob zatížení při postavení rámu na noze. Maximální hodnota $\varepsilon_{\max} = 0,13 \text{ mm}$ je umístěna v prostřední části podélníku. Další významnější deformace (0,11 mm) vzniká v oblasti blízko podložky.



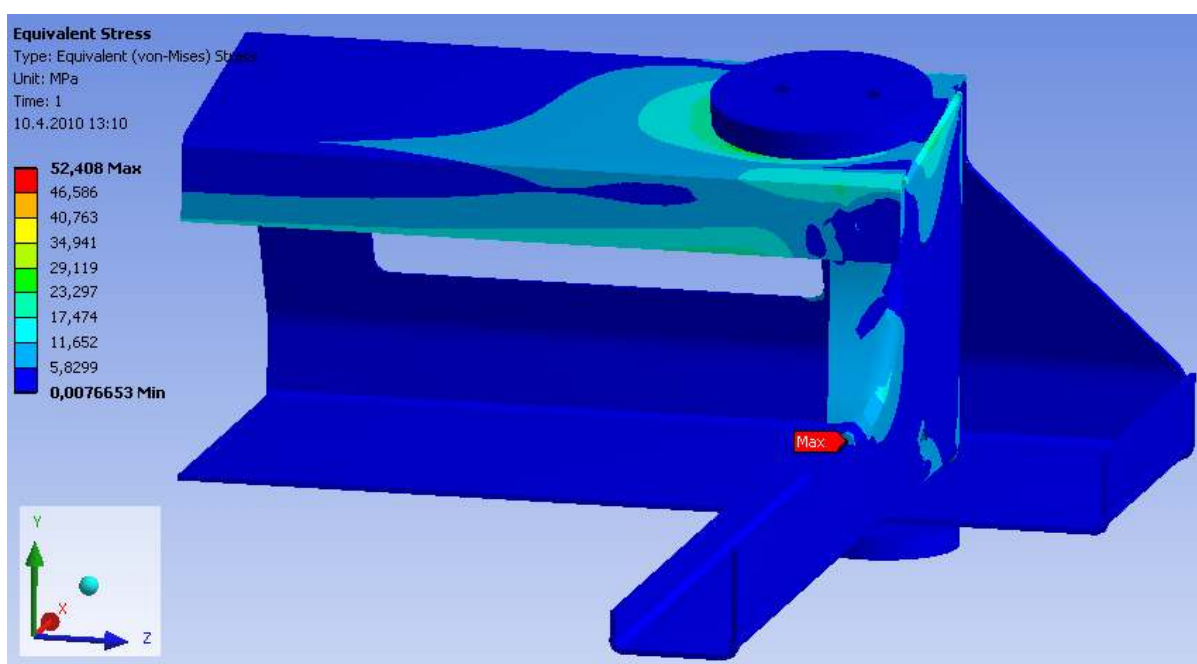
Obr. 45 Celkové deformace finálního rámu při postavení na nohou

Na obr. 46 je průběh deformace při připevnění rámu k podlaze za pomoci šroubu. Maximální deformace $\varepsilon_{\max} = 0,12 \text{ mm}$ je opět umístěna v oblasti středu podélníku. Jak je patrné, je tato varianta lepší než varianta, kdy byl rám postaven na noze.

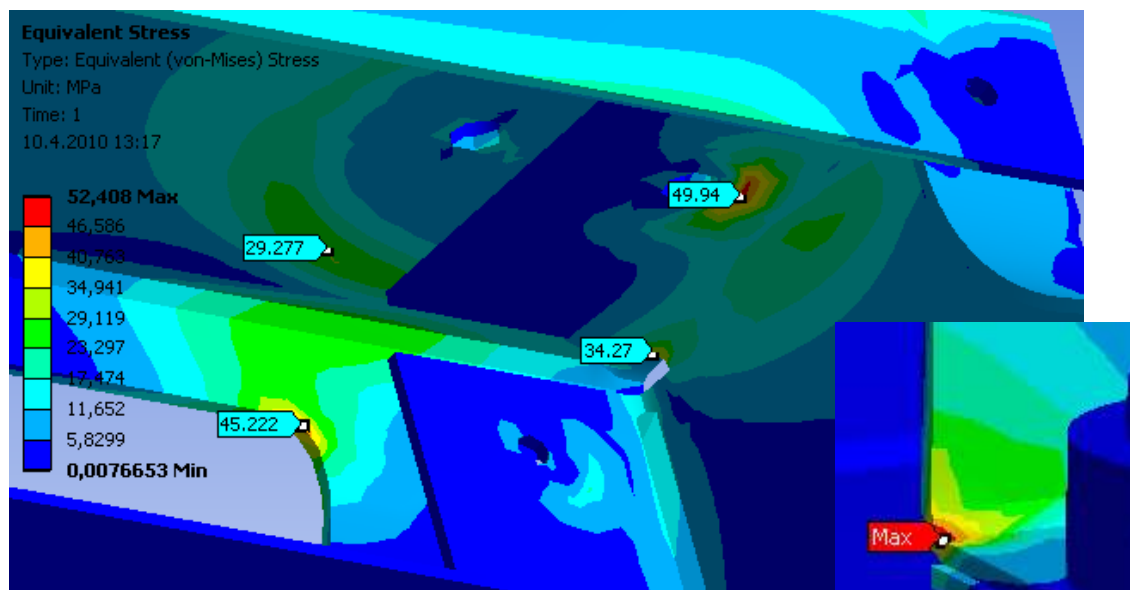


Obr. 46 Celkové deformace finálního rámu při ukotvení šroubem

Obr. 47 zobrazuje rozložení redukovaného napětí dle metody HMM při postavení rámu na noze. Na obr. 48 jsou uvedena místa významných koncentrací napětí v rámu a jejich velikost. Maximální redukované napětí $\sigma_{HMM \max} = 52,4 \text{ MPa}$ je umístěno v oblasti přechodu v dolní části příčnicku viz. obr. 48 vpravo.

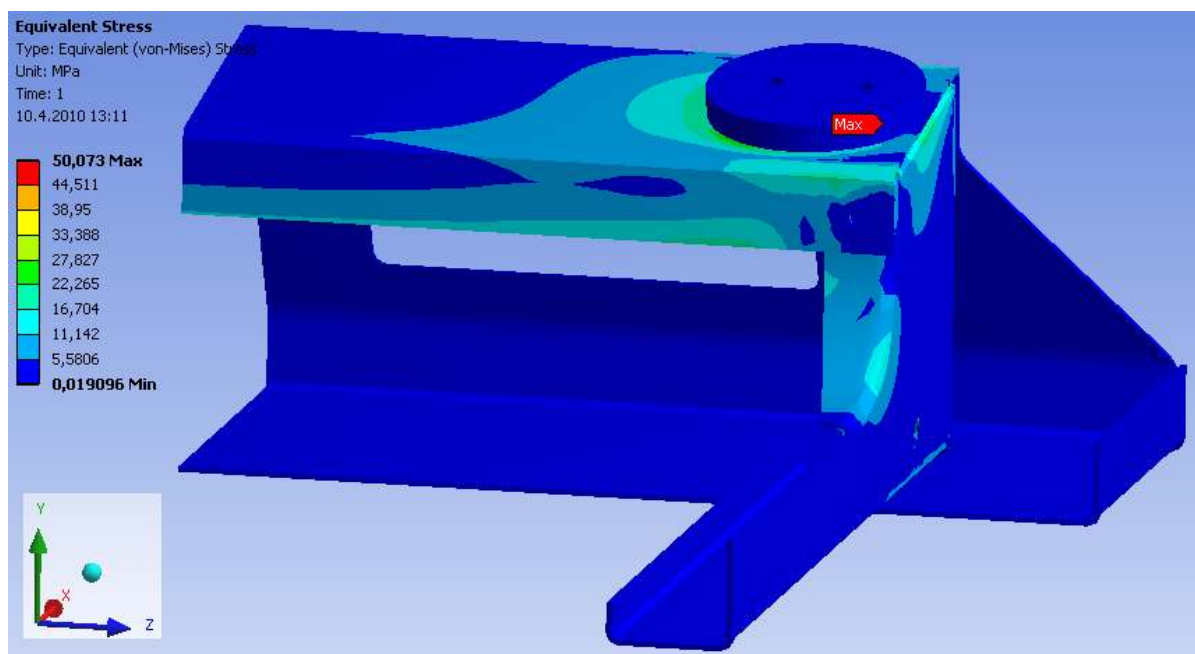


Obr. 47 Ekvivalentní napětí finálního řešení dle hypotézy HMM při postavení na nohou

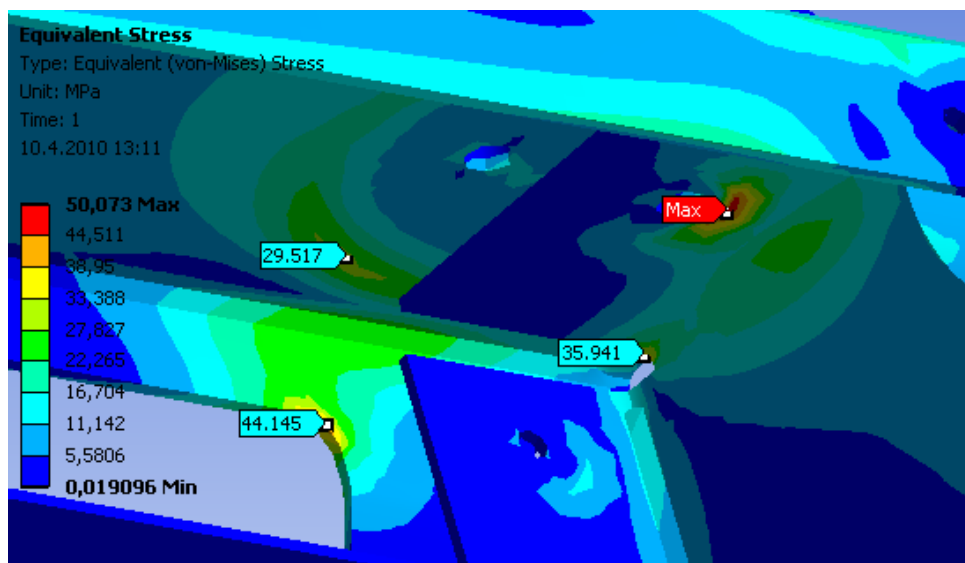


Obr. 48 Oblasti koncentrace napětí při postavení na nohou

Rozložení redukovaného napětí při upevnění rámu šroubem je zobrazeno na obr. 49. Maximální hodnota $\sigma_{HMH \max} = 50,1 \text{ MPa}$ je umístěna v horní části příčnicku v ohybu pod podložkou pružiny. Jak je patrné z obrázku, napětí v dolní části rámu se výrazně snížilo. To je zřejmě způsobeno pevným uchycením rámu pomocí šroubu. Oblasti ostatních důležitých koncentrací napětí jsou na obr. 50. Jejich hodnoty se však proti hodnotám z obr. 48 téměř nezměnily.



Obr. 49 Ekvivalentní napětí finálního řešení dle hypotézy HMH při ukotvení šroubem



Obr. 50 Oblasti koncentrací napětí při ukotvení šroubem

Jako horší varianta je vybráno postavení rámu na noze. Proto tento způsob použit při zatížení rámu skutečnými hodnotami v bodě b).

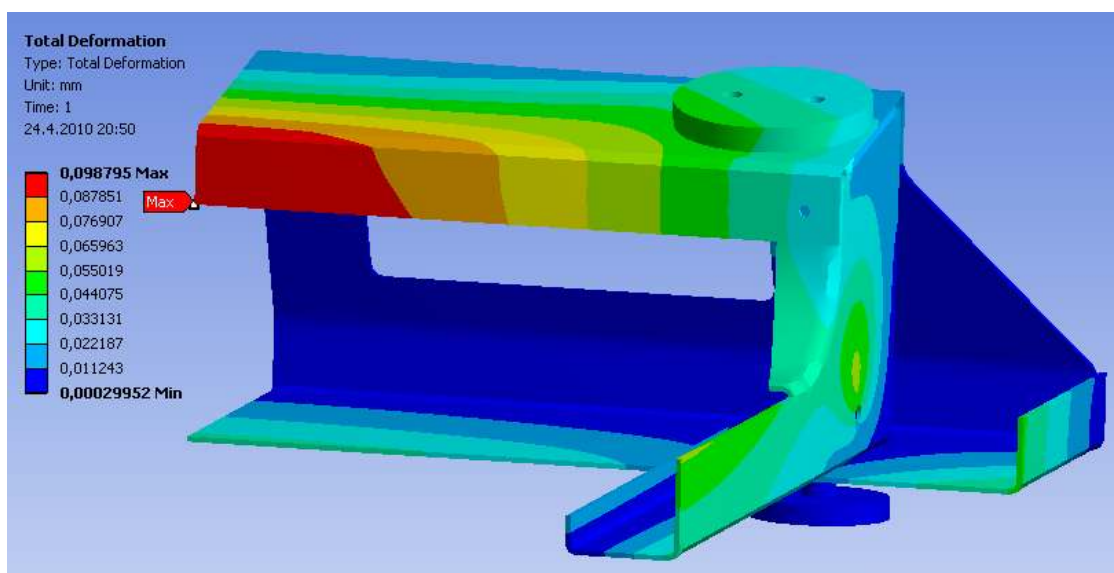
b) Zatížení dle definovaného výpočtového zatížení

Analýza je provedena pro definované výpočtové zatížení z kapitoly 3.1.2. Na vymodelovaný rám se postupně aplikují hodnoty sil osách X a Y tlumiče a pružiny z tabulky 2. Výsledná síla tlumiče se zadává do místa jeho skutečného umístění na boční stěnu příčnicku. Síla od pružiny je opět zadána na podložku v horní části rámu. Jelikož bylo rozděleno zatížení, dojde ke snížení deformací a napětí v horní části rámu a ke zvýšení napětí v oblasti uchycení tlumiče. Zde je uvedena pouze analýza pro maximální hodnotu síly v ose Y pružiny. Ostatní analýzy jsou přiloženy na CD v souboru z programu Ansys Workbench [26]. Jejich významné hodnoty jsou však uvedeny v tabulce 5. Z analýz provedených v bodě a) bylo zjištěno, že horší výsledky vykazuje model rámu s nohou. Proto jsou analýzy finálního rámu provedeny pro tuto variantu. Ze získaných hodnot redukovaného napětí se sestaví cyklus napětí v rámu. Ten je dále použit v kapitole 4 k výpočtu bezpečnosti a životnosti.

Pozn.: Oblast maximálního napětí je pro dosažení lepších výsledků kvalitněji vysířována.

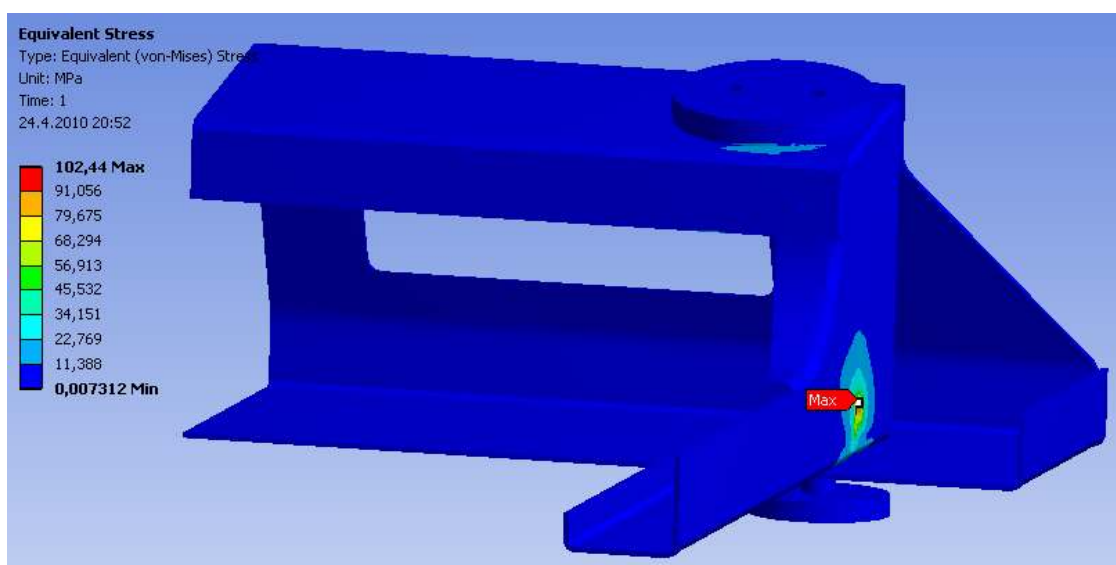
Hodnoty maximálního zatížení:

Získaný průběh deformací rámu je zobrazen na obr. 51. Maximální hodnota $\varepsilon_{\max} = 0,10$ mm je umístěna ve střední části podélníku. Jak je patrné došlo vlivem rozdělení zatížení ke snížení hodnoty deformací rámu.

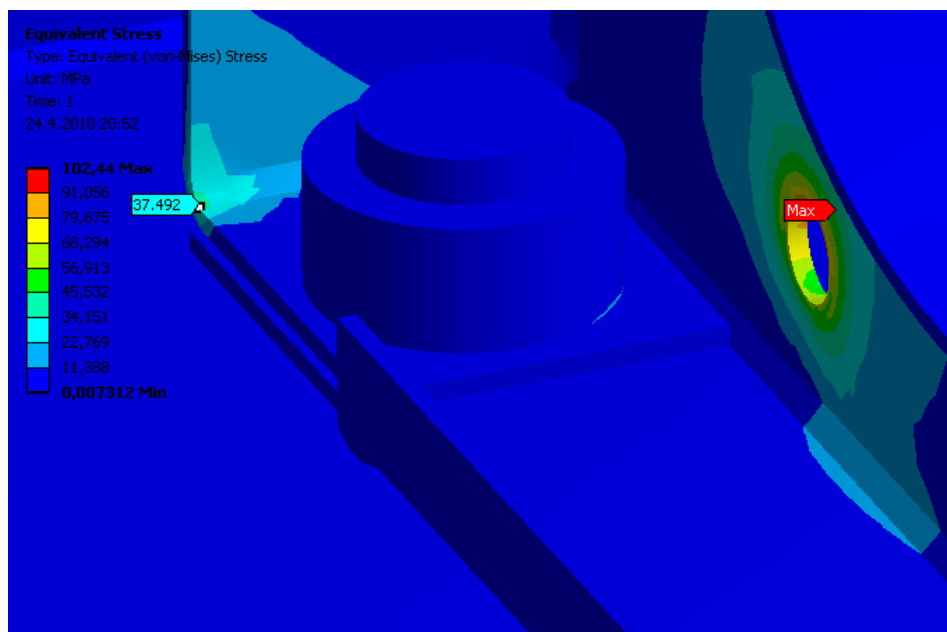


Obr. 51 Celkové deformace

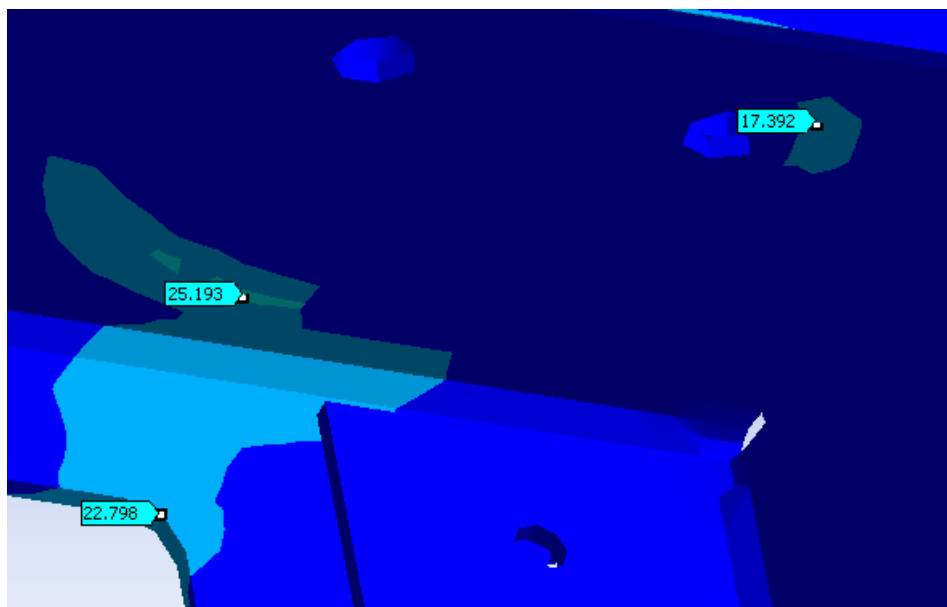
Na obr. 52 je uveden průběh rozložení redukovaného napětí v rámu. Maximální hodnota o velikosti $\sigma_{HMH \max} = 102,4$ MPa je umístěna v místě uchycení tlumiče. Z obrázku je patrné, že při zhuštění sítě v oblasti maxima došlo k výraznému nárůstu napětí. Hodnoty ostatních koncentrací napětí z obr. 52 a obr. 53 jsou proti maximálnímu napětí zanedbatelné.



Obr. 52 Ekvivalentní napětí dle hypotézy HMH

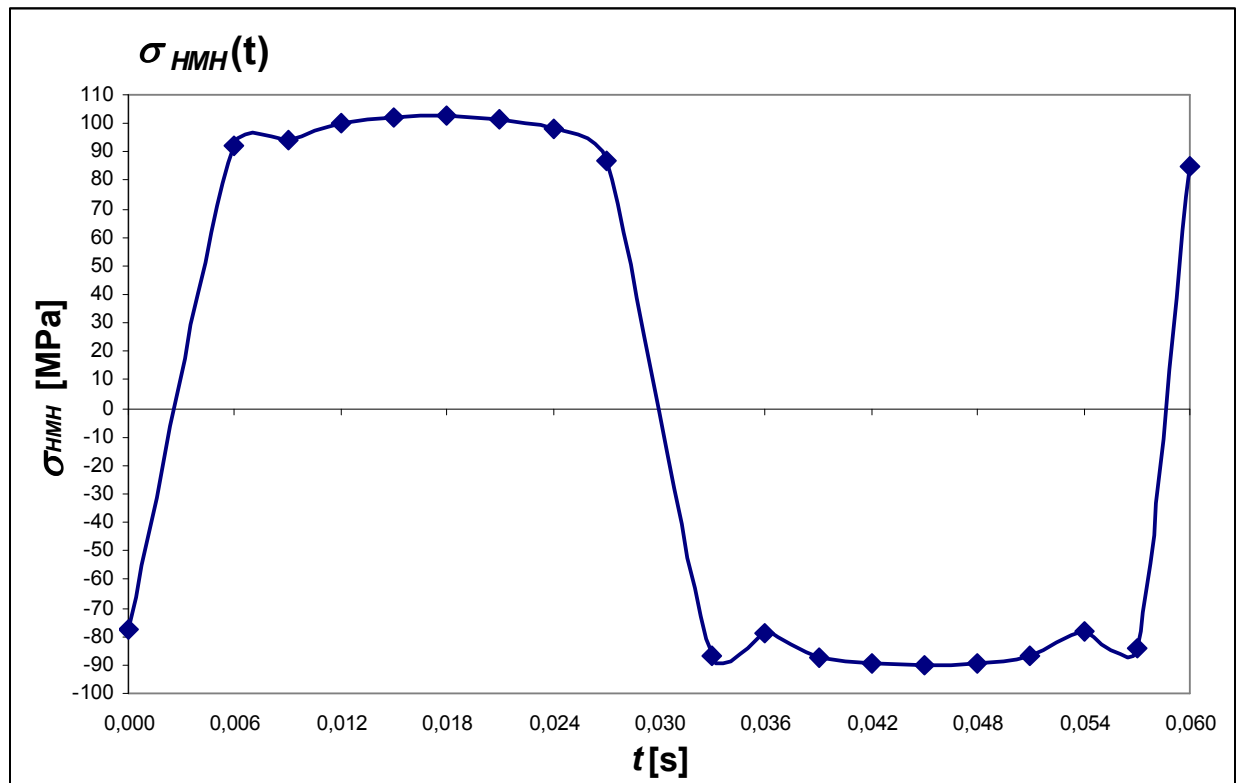


Obr. 53 Oblasti koncentrací napětí v dolní části rámu

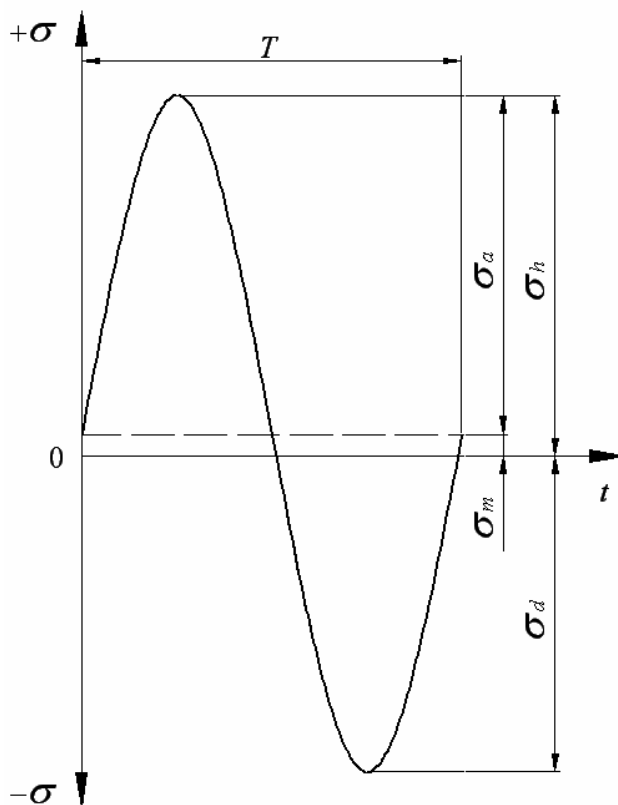


Obr. 54 Oblasti koncentrací v horní části rámu

Průběh napětí získaný z jednotlivých provedených analýz je zobrazen na obr. 55. Zatížení v jednotlivých analýzách je provedeno hodnotami sil z tabulky 2. Získaný cyklus napětí je zjednodušen na souměrně střídavý cyklus viz. obr. 57. Hodnoty tohoto cyklu jsou uvedeny vedle obrázku. Jejich stanovení je provedeno za pomoci hodnot z tabulky 5.



Obr. 55 Cyklus zatížení v oblasti maximální hodnoty redukovaného napětí



Hodnoty zátěžného cyklu:

Horní napětí:

$$\sigma_h = 102,44 \text{ MPa}$$

Střední napětí:

$$\sigma_m = 6,25 \text{ MPa}$$

Dolní napětí

$$\sigma_d = -89,94 \text{ MPa}$$

Amplituda napětí:

$$\sigma_a = 96,19 \text{ MPa}$$

Perioda kmitu:

$$T = 0,054 \text{ s}$$

Rozkmit napětí:

$$\Delta\sigma = 2 \cdot \sigma_a = 192,38 \text{ MPa}$$

Obr. 56 Skutečný cyklus zatížení

Tab. 5 - Hodnoty cyklu zatížení

ozn.	t	t_s	σ_{HMH}	hlavní napětí			ε
				σ_1	σ_2	σ_3	
	[s]	[s]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]
1	138,888	0	-77,75	0,37	-2,35	-78,70	0,05
2	138,894	0,003	91,89	92,92	3,12	-0,85	0,09
3	138,897	0,006	94,44	95,58	3,31	-0,86	0,09
4	138,900	0,009	100,38	101,55	3,42	-0,91	0,10
5	138,903	0,012	102,08	103,28	3,53	-0,93	0,10
6	138,906	0,015	102,44	103,62	3,56	-0,96	0,10
7	138,909	0,018	101,30	102,47	3,46	-0,92	0,10
8	138,912	0,021	97,95	99,12	3,41	-0,89	0,10
9	138,915	0,024	86,71	87,72	3,02	-0,83	0,10
10	138,921	0,027	-86,76	0,48	-2,71	-87,79	0,06
11	138,924	0,030	-78,83	0,38	-2,37	-79,75	0,06
12	138,927	0,033	-87,18	0,45	-2,63	-88,26	0,06
13	138,930	0,036	-89,29	0,41	-2,72	-90,38	0,05
14	138,933	0,039	-89,94	0,42	-2,93	-91,09	0,05
15	138,936	0,042	-89,33	0,49	-2,79	-90,41	0,05
16	138,939	0,045	-87,07	0,43	-2,64	-88,16	0,09
17	138,942	0,048	-77,95	0,38	-2,34	-78,91	0,05
18	138,945	0,051	-83,89	0,46	-2,61	-84,88	0,05
19	138,948	0,054	84,65	85,68	3,01	-0,78	0,09

Uvedená tabulka napětí získaná z jednotlivých analýz pro hodnoty vybraného výpočtového cyklu, slouží ke snadšímu přehledu o dosažených výsledcích. Jsou v ní uvedeny hodnoty redukovaného napětí, hlavních napětí a deformací pro každou hodnotu zatížení. Z těchto hodnot je sestaven cyklus na obr. 55, ze kterého vychází zjednodušená konstrukce cyklu na obr. 56 s uvedenými hodnotami. Tyto hodnoty jsou použity k výpočtu bezpečnosti a predikaci životnosti rámu v kapitole 4. U hodnot redukovaného napětí s nejvyšší zápornou hodnotou hlavního napětí, se mění znaménko z kladného na záporné dle Mohrovy kružnice.

Tab. 6 - Srovnání dosažených výsledků ráků

rák	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
PLOF	0,18	55,7	8	8	7	7	3	2,052	0,870	2,922
finální řešení	0,13	52,4	7	7	6	6	3	1,739	0,807	2,546

V tabulce 6 je provedeno srovnání vybraných parametrů jednotlivých kontrolovaných ráků (PLOF a finální řešení) pro zjednodušené zatížení teoretickými hodnotami dle bodu a).

Vysvětlivky k tabulce:

A maximální deformace [mm]

B maximální ekvivalentní napětí [MPa]

C počet ploch podélníku

D počet ploch příčnicku

E počet ohybů podélníku

F počet ohybů příčnicku

G počet použitých nýtových spojů
(šroubové jsou vždy dva)

H hmotnost podélníku [kg]

I hmotnost příčnicku [kg]

J celková hmotnost [kg]

3.3. Popis použitých prvků ráku

Celý spodní rák se skládá z několika doplňujících prvků sloužících k ustavení ráku (nohy, šrouby), zajištění polohy jednotlivých dílů (šrouby a nýty) a tlumení vibrací (odpružení a tlumiče). Rák se všemi těmito díly je zobrazen na obr. 35. Popis jednotlivých prvků a jejich dílů je popsán v Příloze G, jelikož jejich volba či návrh nejsou předmětem této diplomové práce. Umístění prvků na spodním ráku je zakresleno ve výkresové dokumentaci nebo na CD v souboru z programu AutoCad [25].

Jedinými zde popsányými díly je nýtové spojení a tlumič. Nýtové spoje jsou součástí spodního ráku a slouží k zajištění polohy základních částí (příčnicku a podélníku). Návrh nýtového spoje a jeho kontrola je uvedena v kapitole 3.3.2. Na celém ráku je použito celkem 12 nýtových spojů. Tlumení je zde uvedeno z důvodu úpravy vzdálenosti tlumiče od stěny příčnicku.

3.3.1. Tlumení

Tlumič je uchycen k hornímu i spodnímu rámu za pomoci šroubu, matic a podložek. Rozmístění tlumičů je patrné na obr. 35. Kvůli neodpovídající vzdálenosti mezi horním a dolním rámem a zasahování třetího tlumiče do modelu, bylo nutno provést určité opravy původního návrhu uspořádání tlumiče, který navrhla firma Primus.

Určení potřebné vzdálenosti a uspořádání tlumení:

Tloušťka podložky: $t_p = 2,2 \text{ mm}$

Délka dosedací plochy spodního rámu: $L_{Ds} = 514 \text{ mm}$

Základní délka dosedací plochy horního rámu: $L_{Dhz} = 536 \text{ mm}$

Celková délka dosedací plochy horního rámu:

$$L_{Dh} = L_{Dhz} + 2 \cdot t_p = 536 + 2 \cdot 2,2 = 540,4 \text{ mm} \quad (3.29)$$

Volná délka nutná k vyplnění:

$$L_{Dv} = L_{Dh} - L_{Ds} = 540,4 - 514 = 26,4 \text{ mm} \quad (3.30)$$

Počet podložek pro jeden tlumič:

$$n_{po} = \frac{\frac{L_{Dv}}{2}}{t_p} = \frac{13,2}{2,2} = 6 \quad (3.31)$$

K tomuto číslu je nutné připočíst 2ks podložek použitých na horním i spodním rámu. Pro vyplnění mezery mezi horním a spodním rámem je tedy nutné použít 6 podložek nebo vyrobit nástavec o délce:

Délka nástavce:

$$L_n = \frac{L_{Dv}}{2} + t_p = 13,2 + 2,2 = 15,4 \text{ mm} \quad (3.32)$$

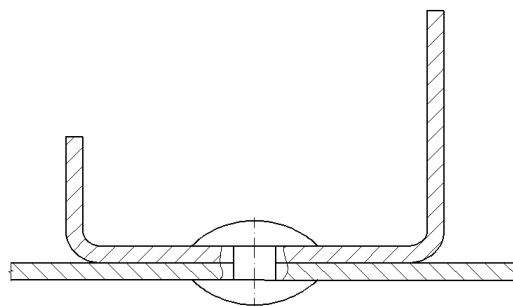
V práci je použita varianta s 6 podložkami, použitými k vyplnění mezery. K utažení šroubu, jehož hlava se opírá o plech spodního rámu, slouží samojistná matice. Popis použitých dílů k zajištění tlumiče a jeho obrázek je uveden v Příloze G.

3.3.2. Nýťový spoj

Slouží ke spojení základních dílů spodního rámu. Je vybrán nýt s plochou kulovou hlavou viz. obr. 57 dle [21]. Dřík i trn jsou vyrobeny z pozinkované oceli a tvořeny za studena. Zvolený průměr nýtu, na který jsou provedeny pevnostní kontroly v kapitole 3.2 je $d_n = 5$ mm. Rozměry nýtu jsou brány dle normy DIN 7337 (ČSN 02 2303) a určeny dle [5] a [6]. Nýtování je provedeno pomocí kleští nebo nýtovací pistole, kdy se jedna část nýtu stlačí do požadovaného tvaru. Výpočty potřebné ke kontrole nýtu jsou provedeny níže a vycházejí z nýťového spoje v dolní části pevnostně kontrolovaného finálního rámu viz. obr. 58.



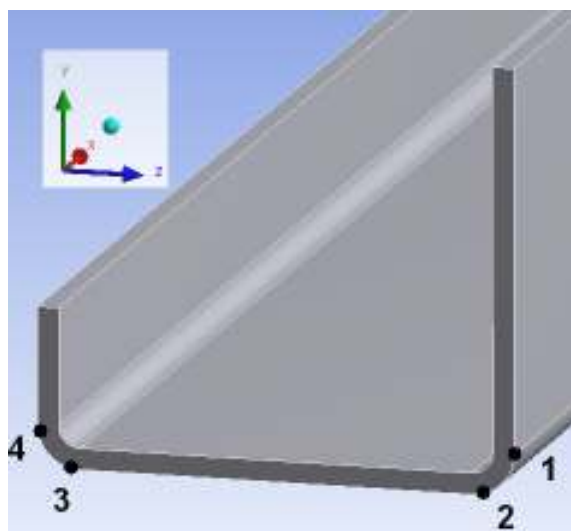
Obr. 57 Nýt s plochou kulovou hlavou



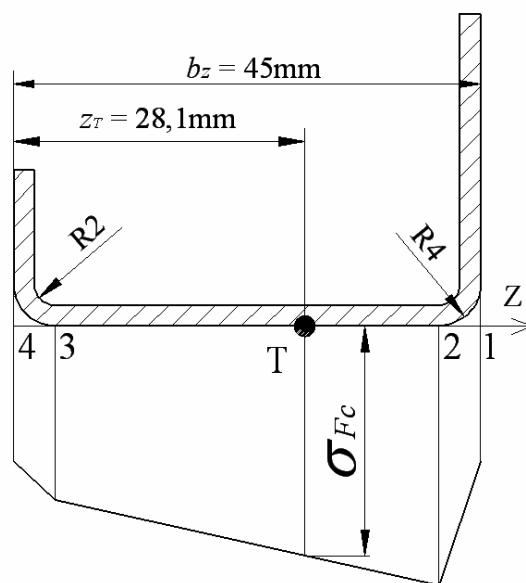
Obr. 58 Nýťový spoj v dolní části rámu

Kontrola nýťového spoje:

Je provedena tak, že se za pomoci hodnot napětí určených v programu Ansys Workbench [26], vypočte síla působící na nýt. Následně je proveden výpočet minimálních průměrů nýtu za pomoci kontroly na střih a na otláčení dle [2]. Poté se provede výpočet dosažené bezpečnosti nýťového spoje pro zvolený průměr nýtu $d_n = 5$ mm. Dovolené hodnoty jsou brány dle [2] pro dynamické zatěžování. Způsob získání hodnot z programu je zobrazen na obr. 59. Hodnoty příslušející jednotlivým bodům jsou uvedeny v tab. 7. Na obr. 60 je zobrazen průběh zatížení v ose X a označena složka napětí σ_{F_c} , ze které se určí tahová složka napětí σ_F a síla působící na nýt F . Výpočet těžiště plochy příčnicku je proveden dle [7] a uveden v příloze na CD v souboru z programu Excel [27].



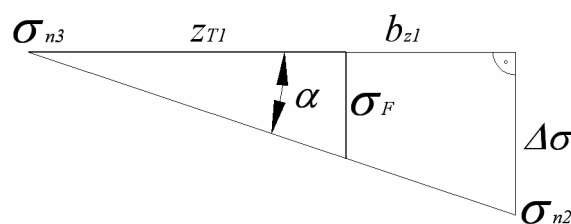
Obr. 59 Body nutné k určení průběhu zatížení



Obr. 60 Průběh napětí v průřezu příčniku

Tab. 7 - Hodnoty zatížení v ose x

označení	napětí [MPa]
σ_{n1}	1,88
σ_{n2}	2,49
σ_{n3}	1,67
σ_{n4}	1,30



Obr. 61 Výpočtový trojúhelník

Parametry nutné k výpočtu:

Šířka příčniku v ose Z:

$$b_z = 45 \text{ mm}$$

Vzdálenost těžiště:

$$z_T = 28,1 \text{ mm}$$

Plocha příčniku:

$$S = 172,7 \text{ mm}^2$$

Dovolený tlak pro dynamické zatížení:

$$p_D = 80 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí ve stříhu pro dynamické zatížení:

$$\tau_D = 40 \text{ MPa}$$

Tloušťka plechu:

$$t_l = 2 \text{ mm}$$

Předvolený průměr nýtu:

$$d_n = 5 \text{ mm}$$

Výpočet:

Vychází z trojúhelníku zobrazeného na obr. 61, kdy se σ_F bere jako tahová složka zatížení.

Rozdíl hodnot napětí:

$$\Delta\sigma = \sigma_{n2} - \sigma_{n3} = 2,49 - 1,67 = 0,82 \text{ MPa} \quad (3.33)$$

Délka stěny výpočtového trojúhelníku:

$$b_{z1} = b_z - 2R4 = 45 - 8 = 37 \text{ mm} \quad (3.34)$$

Vzdálenost těžiště ve výpočtovém trojúhelníku:

$$z_{T1} = z_T - R_4 = 28,1 - 4 = 24,1 \text{ mm} \quad (3.35)$$

Úhel výpočtového trojúhelníku:

$$\tan \alpha = \frac{\Delta \sigma}{b_{z1}} \Rightarrow \alpha = \arctan \frac{\Delta \sigma}{b_{z1}} = \arctan \frac{0,82}{37} = 1,27^\circ \quad (3.36)$$

Tahová složka napětí

$$\tan \alpha = \frac{\sigma_F}{z_{T1}} \Rightarrow \sigma_F = z_{T1} \cdot \tan \alpha = 24,1 \cdot \tan 1,27 = 0,53 \text{ MPa} \quad (3.37)$$

Celkové napětí v příčnici

$$\sigma_{Fc} = \sigma_F + \sigma_{n3} = 0,53 + 1,67 = 2,20 \text{ MPa} \quad (3.38)$$

Tahová síla v příčnici:

$$\sigma_{Fc} = \frac{F}{S} \Rightarrow F = S \cdot \sigma_{Fc} = 172,7 \cdot 2,20 = 379,94 \approx 380 \text{ N} \quad (3.39)$$

Stanovení výpočtových průměrů nýtu:

$$\tau_D = \frac{F}{S_n} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d'^2} \Rightarrow d' = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \tau_D}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 380}{\pi \cdot 40}} = 3,5 \text{ mm} \quad (3.40)$$

$$p_D = \frac{F}{d' \cdot s} \Rightarrow d' = \frac{F}{2 \cdot t_1 \cdot p_D} = \frac{380}{2 \cdot 2 \cdot 80} = 1,2 \text{ mm} \quad (3.41)$$

Kontrola zvoleného nýtu o průměru $d_n = 5 \text{ mm}$:

Napětí ve střihu:

$$\tau = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_n^2} = \frac{4 \cdot 380}{\pi \cdot 5^2} = 19,4 \text{ MPa} \quad (3.42)$$

Bezpečnost ve střihu:

$$k_\tau = \frac{\tau_D}{\tau} = \frac{40}{19,4} = 2,1 \quad (3.43)$$

Otlačení nýtu:

$$p = \frac{F}{2 \cdot t_1 \cdot d_n} = \frac{380}{2 \cdot 2 \cdot 5} = 19 \text{ MPa} \quad (3.44)$$

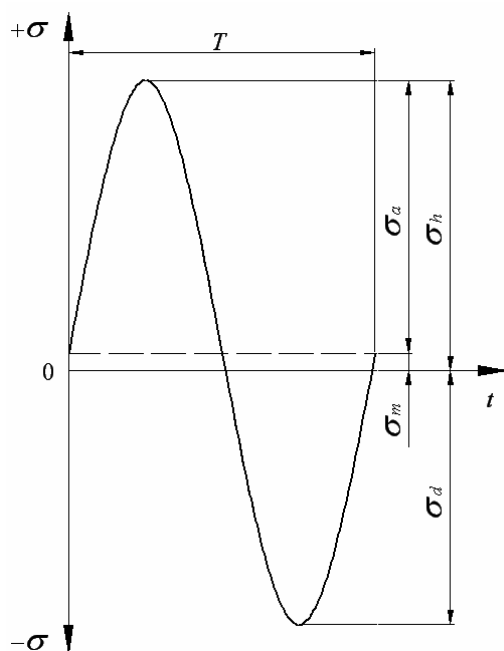
Bezpečnost v tlaku:

$$k_p = \frac{p_D}{p} = \frac{80}{19} = 4,2 \quad (3.45)$$

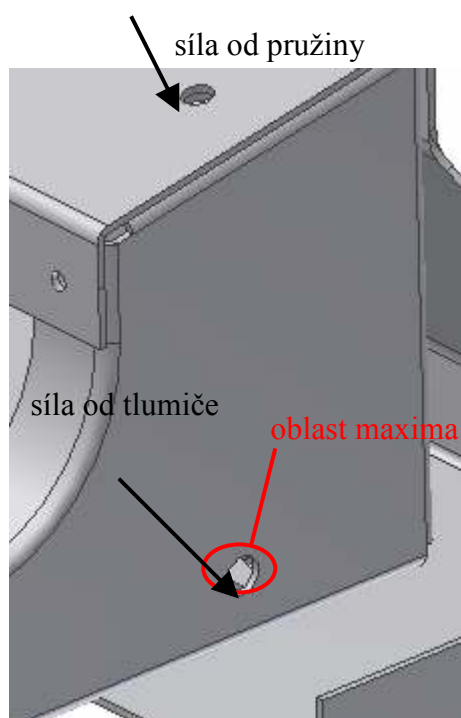
Dosažené výsledné hodnoty bezpečnosti jsou dostatečné pro daný způsob zatížení

4. Výpočet životnosti

Je proveden na základě získaného cyklu napětí v rámu určeného v kapitole 3.2.2, který byl zatížen definovaným výpočtovým zatížením určeným v kapitole 3.1.2. Zjednodušený cyklus získaného napětí je zobrazen na obr. 62. Místo, ke kterému jsou výpočty provedeny, je uvedeno na obr. 63. Jedná se oblast blízko otvoru pro držení tlumiče, který je umístěn na boční stěně příčnicku. V této kapitole je nejprve popsán prací cyklus, poté provedena zjednodušená konstrukce Wöhlerovy křivky a následný výpočet bezpečnosti konstrukce. V závěru kapitoly je provedena predikce životnosti rámu.



Obr. 62 Cyklus napětí v rámu



Obr. 63 Oblast otvoru na boční stěně příčnicku

4.1. Popis pracího cyklu

Je proveden dle [10]. Jedná se o horké praní při 90°C, které bylo vybráno z několika pracích programů. Významné hodnoty jsou uvedeny v tab. 8. Praní se skládá z pěti kroků a tzv. rozvolnění prádla na konci pracího cyklu, které snižuje mačkání prádla při sušení. Jak je patrné z tabulky, tak se během jednotlivých kroků pracího cyklu mění hladina vody, otáčky a čas. Jak bylo zjištěno v kapitole 3.1.2 měřením, je rám nejvíce zatížen během odstředování s maximálními otáčkami (v tabulce tučně). Tento prací cyklus je vybrán záměrně, jelikož žádný z ostatních pracích cyklů nemá dobu velkého odstředování delší než 5,5 minuty.

Tab. 8 - Vybraný prací cyklus

	sekvence	hladina vody	čas	otáčky
			[min]	[min ⁻¹]
krok 1	Předepraní	NL	5	60
	Odstřed'ování	-	1	500
krok 2	Hlavní praní	NL	10	60
	Vypouštění	-	0,5	100
krok 3	Máchání 1	NH	2	60
	Odstřed'ování	-	1	500
krok 4	Máchání 2	NH	2	60
	Odstřed'ování	-	1	500
krok 5	Máchání 3	NL	3	60
	Odstřed'ování	-	5,5	1165
*	Rozvolnění	-	0,5	60

Vysvětlivky k tabulce:

NL - normální nízká hladina vody

HL - normální vysoká hladina vody

Popis jednotlivých fází praní [22]:

Praní:

Po napuštění vody do bubnu přes násypku s pracím práškem se pračka přepne na praní a ohřev vody. Při praní se otáčí buben rychlostí až 60 otáček za minutu jedním směrem nebo střídavě na obě strany podle zvoleného programu. Po dokončení pracího procesu pračka odčerpá vodu do odpadu.

Máchání:

Začíná napouštěním vody, pokračuje po nastavenou dobu střídavým otáčením bubnu při rychlosti 100 otáček za minutu a končí vypouštěním vody. Aby bylo prádlo řádně zbaveno chemických pracích prostředků, je máchání obvykle 3krát opakováno. Při máchání je napouštěno více vody než při praní, což ovšem příliš neovlivňuje náklady na praní, jelikož se jedná o vodu studenou.

Odstřed'ování:

Postupným zrychlováním otáček bubnu, až na hodnotu 1165 otáček za minutu, dochází k rovnoměrnému rozložení prádla v bubnu a odstředění vody, která se průběžně odčerpává.

4.2. Sestavení Wöhlerovy křivky

Pro odhad životnosti kontrolovaného rámu je nutné nejprve určit parametry Wöhlerovi křivky. Zde je provedena pouze teoretická konstrukce dle [1]. Wöhlerova křivka (dále jen W-křivka) vyjadřuje základní únavové vlastnosti dané konstrukce spodního rámu a vychází ze základních poznatků, jako je mez pevnosti R_m a mez kluzu R_e materiálu. Křivka se sestavuje na základě obecných znalostí o procesu únavového poškození. Zde vypočtená skutečná mez únavy $\sigma_{C,R}$ je použita v kapitole 4.3 k výpočtu bezpečnosti dané konstrukce. Křivka je určena pro nesouměrně střídavý cyklus zatížení zobrazený na obr. 62.

Mez pevnosti materiálu: $R_m = 368 \text{ MPa}$

Mez kluzu materiálu: $R_e = 292 \text{ MPa}$

Stanovení základní meze únavy:

Je stanovena pro daný cyklus zatížení dle teoretického vzorce (4.1) získaného z [1].

$$\sigma_C = 0,619 \cdot R_m^{0,9299} = 0,619 \cdot 368^{0,9299} = 150,6 \text{ MPa} \quad (4.1)$$

Stanovení skutečné meze únavy:

Skutečná mez únavy je stanovena dle vztahu (4.2):

$$\sigma_{C,R} = \sigma_C \cdot \frac{\varepsilon_V \cdot \eta_P}{\beta_K} \quad (4.2)$$

kde: ε_V je součinitel velikosti

η_P je součinitel jakosti povrchu,

β_K je vrubový součinitel

Stanovení jednotlivých součinitelů:

Jelikož je většina koeficientů uvedených v literatuře určena pro rotační součásti, koeficienty pro kontrolovanou součást jsou stanoveny přibližně pro součásti s obdobným tvarem vrubu dle grafů nebo vypočteny dle vzorců převzatých z [1].

Součinitel vrubu dle Thuma:

$$\beta_K = 1 + (\alpha_K - 1) \cdot q = 1 \quad (4.3)$$

kde: α_K je tvarový součinitel
 q je součinitel vrubové citlivosti

Výpočet je stanoven pro boční stěnu příčnicku, kde se nevyskytují žádné přechody. Z toho plyne, že se v daném místě neobjevují místa koncentrace napětí a proto je tvarový součinitel $\alpha_K = 1$. Po dosazení do vzorce je tedy vrubový součinitel $\beta_K = 1$.

Součinitel jakosti povrchu:

Je určen za pomoci grafu z [1] str.30. Součinitel je závislý na mezi pevnosti materiálu a na drsnosti povrchu materiálu, která je $6,3 \mu\text{m}$.

$$\eta_p = 0,9$$

Součinitel velikosti:

Vzorec (4.4) vychází z poměru objemů zkušební vzorku V_o a objemu plochy která je pod zatížením V_p . Jako objem pod zatížením je brána boční stěna příčnicku dle obr. 64, kde jsou uvedeny i základní rozměry plochy. Koeficient m vychází z tabulky dle [1] pro zatížení tahem a slitinovou ocel.

$$\varepsilon_V = \left(\frac{V_p}{V_o} \right)^m = \left(\frac{21274,7}{2513} \right)^{-0,04} = 0,92 \quad (4.4)$$

Objem zkušební vzorku:

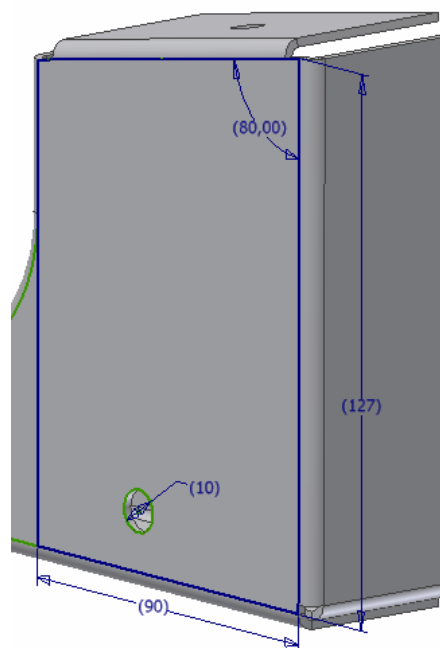
$$V_o = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \cdot l_s = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} \cdot 50 = 2513 \text{ mm}^3 \quad (4.5)$$

Objem plochy pod zatížením [24]:

$$V_p = 21274,7 \text{ mm}^3$$

Koeficient materiálu:

$$m = -0,040$$



Obr. 64 Boční stěna příčnicku

Výsledná skutečná mez únavy je tedy po dosazení jednotlivých koeficientů do vzorce (4.2) rovna

$$\sigma_{C,R} = \sigma_C \cdot \frac{\varepsilon_V \cdot \eta_P}{\beta_K} = 150,6 \cdot \frac{0,92 \cdot 0,9}{1} = 124,7 \text{ MPa} \quad (4.6)$$

Sestrojení W-křivky:

Pro možné sestrojení teoretické W-křivky je ještě nutné učit počet cyklů na mezi únavy N_C a exponent w udávající strmost křivky v oblasti časované pevnosti. Sestrojená teoretická W-křivka s určenými koeficienty je na obr. 65.

Počet cyklů na mezi únavy:

Je určen pomocí tabulky z [1] jako závislost na mezi pevnosti materiálu

$$N_C = 2 \cdot 10^6 \text{ cyklů}$$

Exponent W-křivky:

Je určen dle grafu z [1] str. 20 jako závislost $R_e/\sigma_{C,R}$ a dle houževnatosti materiálu.

$$w = 6.$$

Určené hodnoty křivky:

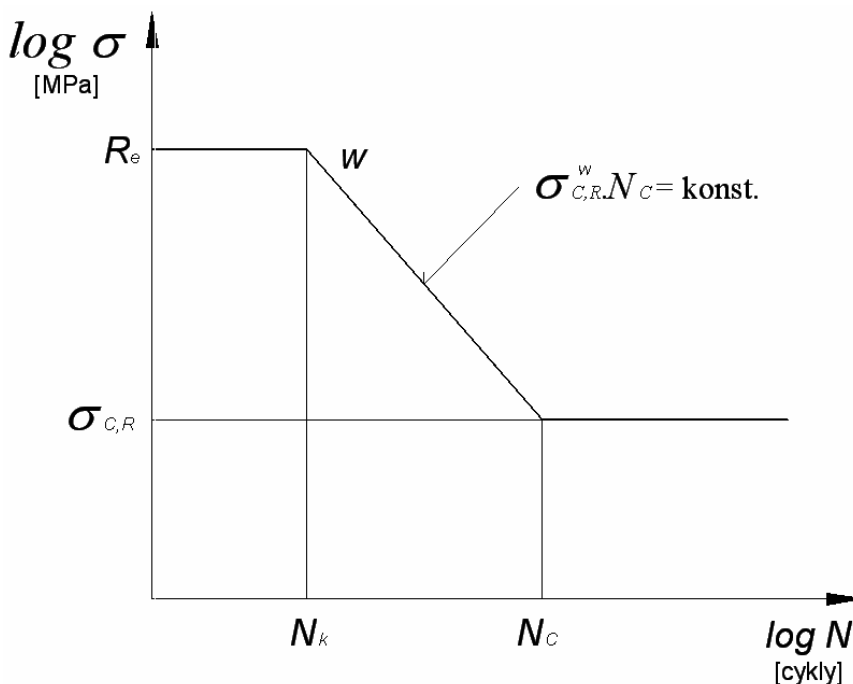
$$N_C = 2 \cdot 10^6 \text{ cyklů}$$

$$N_k = 5,4 \cdot 10^2 \text{ cyklů}$$

$$\sigma_{C,R} = 124,7 \text{ MPa}$$

$$R_e = 292 \text{ MPa}$$

$$w = 6$$



Obr. 65 Teoretická W-křivka

4.3. Výpočet bezpečnosti

Vychází z konstrukce Smithova diagramu s určením parametrů pro nesouměrně střídavý cyklus určený v kapitole 3.2.2. a zobrazený na obr. 62. Pro konstrukci diagramu je nutné znát některé základní parametry a jejich vztahy, které jsou převzaty z [2]. Zjednodušený Smithův diagram, ze kterého vychází výpočet bezpečnosti konstrukce, je zobrazen na obr. 66. Tento diagram není pro lepší přehlednost proveden v měřítku (hodnoty na diagramu neodpovídají hodnotám skutečným), jelikož by jinak byl nepřehledný. Základní hodnoty nutné k výpočtu bezpečnosti jsou uvedeny vedle obrázku.

Horní napětí:

$$\sigma_h = 102,44 \text{ MPa}$$

Střední napětí:

$$\sigma_m = 6,25 \text{ MPa}$$

Dolní napětí:

$$\sigma_d = -89,94 \text{ MPa}$$

Amplituda napětí:

$$\sigma_a = 96,19 \text{ MPa}$$

Mez kluzu materiálu:

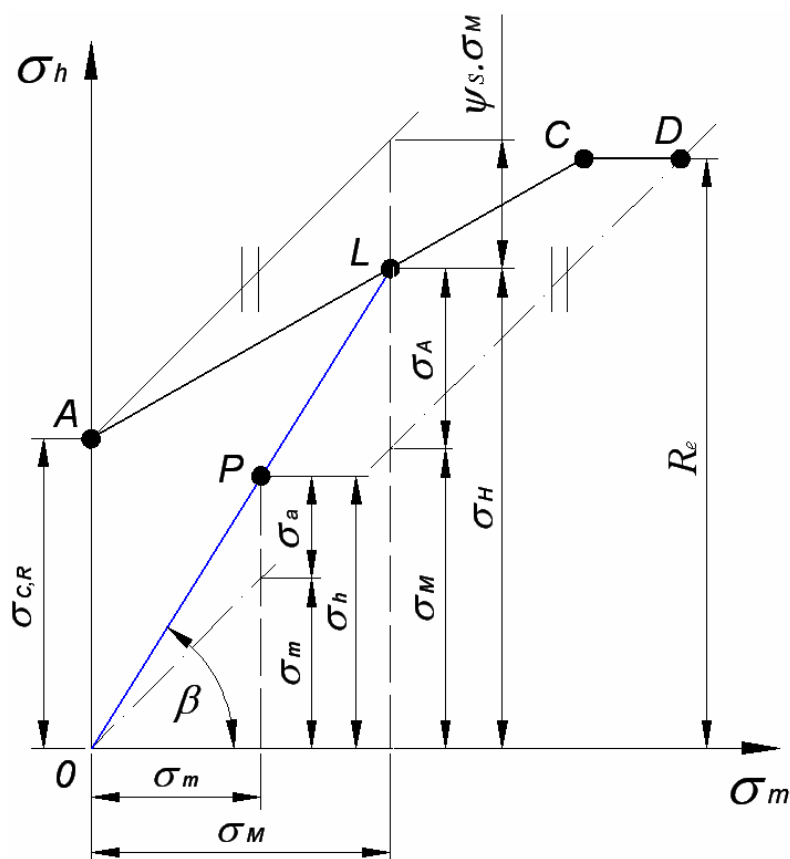
$$R_e = 292 \text{ MPa}$$

Skutečná mez únavy:

$$\sigma_{C,R} = 124,7 \text{ MPa}$$

Zvolená minimální bezpečnost:

$$n_D = 1,2$$



Obr. 66 Teoretický Smithův diagram

Při výpočtech se předpokládá, že poměr horního napětí σ_h a středního napětí σ_m je konstantní. Z toho vyplývá, že směrnice přímky OP je konstantní a určena vztahem dle [2]. Vztah vychází z rovnice přímky, kde směrnice $k_s = \tan \beta$. Z této rovnice je určen základní vztah pro rovnici přímky na grafu $\sigma_h = k_s \cdot \sigma_m$.

Směrnice přímky se pak vypočte ze vztahu:

$$k_s = tg\beta = \frac{\sigma_h}{\sigma_m} = \frac{\sigma_h}{\frac{\sigma_h + \sigma_d}{2}} = \frac{2}{1 + \frac{\sigma_d}{\sigma_h}} = \frac{2}{1 + \frac{-89,94}{102,44}} = 16,4 \quad (4.7)$$

Velikost horního napětí σ_H , při kterém dojde k lomu, je určena průsečíkem přímek AC a 0PL. Rovnice přímky AC má dle obrázku tvar:

$$\sigma_H = \sigma_{C,R} + \sigma_M + \psi_{\sigma,R} \cdot \sigma_M \quad (4.8)$$

Součinitel $\psi_{\sigma,R}$ vyjadřuje sklon přímky AC a je určen pomocí rovnice dle [2].

$$\psi_{\sigma,R} = \psi_{\sigma} \cdot \frac{\sigma_{C,R}}{\sigma_C} = 0 \cdot \frac{124,7}{150,6} = 0 \quad (4.9)$$

kde $\psi_{\sigma} = 0$ je teoretický součinitel sklonu určený dle [4] pro materiál s $R_e = 292$ MPa.

Horní napětí je pak určeno jako průsečík přímek v bodě L:

$$\sigma_H = \sigma_{C,R} + (1 - \psi_{\sigma,R}) \cdot \sigma_M = \sigma_{C,R} + (1 - \psi_{\sigma,R}) \cdot \frac{\sigma_H}{k_s} = \frac{\sigma_{C,R} \cdot k}{(k_s - 1 + \psi_{\sigma,R})}$$

$$\sigma_H = \frac{124,7 \cdot 16,4}{(16,4 - 1 + 0)} = 132,80 \text{ MPa} \quad (4.10)$$

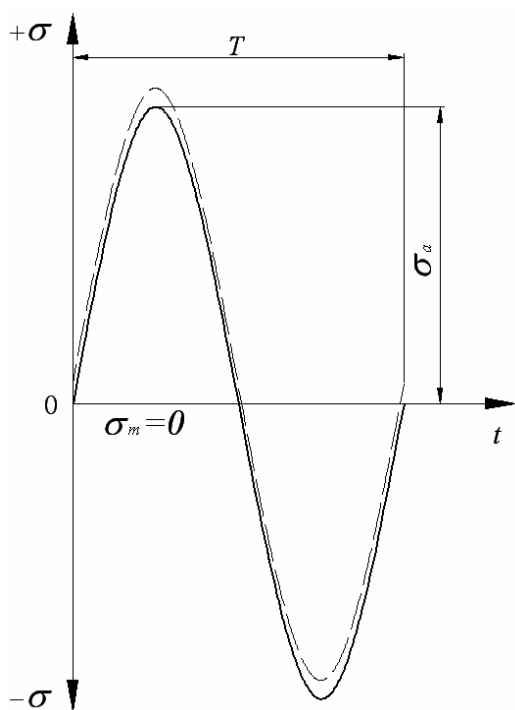
Bezpečnost rámu je pak určena jako poměr horních napětí přímek 0P a 0L.

$$n_{\sigma H} = \frac{\sigma_H}{\sigma_h} = \frac{132,80}{102,44} = 1,29 > n_D \quad (4.11)$$

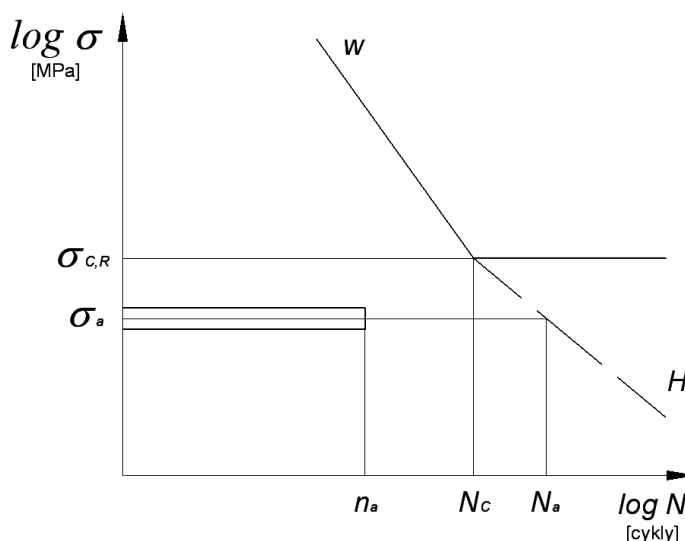
Jak je patrné ze vztahu (4.11) pro výpočet bezpečnosti, je výsledná bezpečnost konstrukce n_{σ} vyšší než minimální doporučená bezpečnost n_D . Protože je střední napětí konstantní, tak zde není uveden výpočet amplitudové bezpečnosti, která by měla stejnou hodnotu jako vypočtená bezpečnost horních napětí.

4.4. Predikce životnosti konstrukce

Životnost je dle [1] stanovena za pomoci teorie únavového poškození součásti a jeho kumulace v rámu, čímž dojde během zatěžování ke vzniku poruchy. Životnost je určena pomocí W-křivky dle Haibachovy hypotézy. Výpočet vychází z nesouměrně střídavého cyklu napětí (čárkovaně) získaného v kapitole 3.2.2, který je zde zjednodušen na cyklus souměrně střídavý (plná čára) viz. obr. 67. Z obrázku je tedy patrné, že se při predikci životnosti zanedbává střední složka napětí σ_m a uvažuje se pouze složka amplitudová σ_a . Schéma výpočtu je uvedeno na obr. 68, kde je zobrazen způsob určení počtu cyklů do poruchy N_a na Haibachově křivce.



Obr. 67 Upravený cyklus napětí



Obr. 68 Schéma výpočtu cyklů do poruchy

Koeficient Haibachovy křivky:

Je vypočten ze vztahu (4.12) převzatého z [1]. Slouží k výpočtu počtu cyklů do poruchy ve vztahu (4.13) a udává sklon Haibachovy křivky na obr. 68.

$$H = 2 \cdot w - 1 = 2 \cdot 6 - 1 = 11 \quad (4.12)$$

Počet cyklů do poruchy:

$$N_a = N_c \cdot \left(\frac{\sigma_{C,R}}{\sigma_a} \right)^H = 2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{124,7}{96,19} \right)^{11} = 3,48 \cdot 10^7 [\text{cyklů}] \quad (4.13)$$

Počet cyklů zátěžného spektra:

Amplituda napětí se v cyklu objevuje každou půl periodu, která má délku $T/2 = 0,027$ s. Tato hodnota, je pomocí vzorce (4.14), přepočtena na celou délku měření trvající dobu $t_m = 155$ s, díky čemu se získá počet výskytů amplitudy během celého spektra zatížení.

$$n_a = \frac{t_m}{\frac{T}{2}} = \frac{155}{0,027} = 5741 \text{ [cyklů]} \quad (4.14)$$

Intenzita poškození:

Je brána jako poměr cyklů zátěžného spektra a počtu cyklů do poruchy na Haibachově křivce.

$$D_a = \frac{n_a}{N_a} = \frac{5,74 \cdot 10^3}{3,48 \cdot 10^7} = 1,65 \cdot 10^{-4} \quad (4.15)$$

Základní životnost rámu:

Je stanovena jako poměr celkové délky spektra zatížení k vypočtené intenzitě poškození.

$$L_C = \frac{L_s}{D_a} = \frac{n_a}{D_a} = \frac{5,74 \cdot 10^3}{1,65 \cdot 10^{-4}} = 3,48 \cdot 10^7 \text{ [cyklů]} \quad (4.16)$$

kde: L_s je celková délka zátěžného spektra.

Životnost v cyklech L_C je přepočtena na životnost L_{CP} v pracích cyklech pomocí vzorce (4.17).

$$L_{CP} = \frac{L_C}{t_o \cdot n_{1s}} = \frac{3,48 \cdot 10^7}{155 \cdot 18,5} = 12136 \text{ [pracích cyklů]} \quad (4.17)$$

kde: t_o je čas zkráceného odstředování během praní (155 sekund)

n_{1s} je počet cyklů za jednu sekundu ($n_o / 60$)

Jak je vidět z výpočtu (4.17), je vypočtená životnost menší než požadovaná minimální životnost, která je 15000 pracích cyklů. Je však nutné zdůraznit, že se však jedná pouze pro odhad životnosti. Skutečná životnost rámu během provozu pračky bude vyšší než požadovaná, jelikož zde stanovená životnost je vypočtena pro amplitudu maximálního napětí v rámu. Ve skutečnosti

však bude průměrná amplituda nižší. Dále se z důvodu předimenzování nedají ve výpočtu postihnout všechny vstupující faktory jako je např. snížení napětí od tlumiče po utažení, snížení velikosti napětí vlivem opření podložky tlumiče o boční stěnu příčnicku (zvětšení opěrné plochy) atd. Ve vzorci (4.18) je uveden příklad přepočtu životnosti na průměrnou dobu odstředování ze všech třinácti možných pracích cyklů.

$$L_{CPp} = \frac{L_C}{t_{op} \cdot n_{1s}} = \frac{3,48 \cdot 10^7}{134 \cdot 18,5} = 14038 [\text{pracích cyklů}] \quad (4.18)$$

Ze vzorce je patrné že se oproti výpočtu ze vzorce (4.17) zvýšila. Např. při sestavení spektra zatížení z celého provedeného měření by se hodnota životnosti dostala za minimální požadovanou mez. Proto je možné konstatovat, že vypočtená životnost je dostatečná.

5. Závěr

Tato práce se zabývá návrhem konstrukce spodního rámu odpružené průmyslové pračky pro firmu Primus. V počátku práce je provedeno srovnání rámu průmyslových praček od různých výrobců. Jádrem práce se skládá z návrhu zatížení působícího na rám, které je provedeno jak pomocí teoretického výpočtu, tak za pomoci provedených měření. Výsledkem je získání zátěžného cyklu působícího na rám.

Dále je proveden návrh konstrukce rámu za podpory různých softwarů. Uspořádání rámu a základní přípojovací rozměry jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci. Návrh rámu je proveden dle požadavků firmy a jsou na něm použity všechny potřebné části, jako jsou třecí tlumiče, pružiny, nohy, držáky plechu atd.

Základní části rámu jsou pak podrobeny pevnostní kontrole pomocí metody konečných prvků. Z výsledků, kterými jsou celkové deformace rámu a redukovaná napětí dle metody HMM, je sestaven cyklus napětí v rámu.

Z tohoto cyklu a ze základních materiálových vlastností byla v závěru práce sestavena teoretická Wöhlerova křivka a určena skutečná mez únavy. Ze získaných hodnot byla vypočtena bezpečnost rámu dle Smithova diagramu pro souměrně střídavý cyklus a provedena predikce životnosti dle Haibachovy hypotézy na zjednodušeném souměrně střídavém cyklu napětí..

V práci bylo dosaženo všech stanovených cílů, kterými byly sestavení zátěžného cyklu, konstrukční řešení, pevnostní kontrola vybraných dílů a výpočet životnosti rámu. Výsledná dosažená bezpečnost konstrukce je 1,29, což je více než požadované minimum. Životnost rámu je odhadnuta na 14038 pracích cyklů pro nejhorší cyklus zatížení a průměrnou zkrácenou délku odstředování během pracího cyklu. Skutečná hodnota životnosti, která bude vyšší než vypočtená, se nedá určit, jelikož je návrh značně předimenzován. Jelikož jsou splněny všechny požadavky kladené na rám, je možné tento rám začít používat v praxi bez problémů.

6. Seznam použité literatury

- [1] MORAVEC, V., PIŠŤÁČEK, D.: *Pevnost a životnost dynamicky namáhaných strojních součástí*, Skriptum. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2007. ISBN 80-248-0980-9, 102 s.
- [2] DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. – Spojovací části strojů*, Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-7225-018-3, 225 s.
- [3] MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočty a konstrukce strojních dílů*, Skriptum. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0878-1, 72 s.
- [4] BOHÁČEK, F. a kol.: *Části a mechanismy strojů – Zásady konstruování spoje*, Skriptum. Brno: VUT Brno, 1990. ISBN
- [5] DRASTÍK, F. a kol.: *Strojnické tabulky*, Ostrava: Montanex, 1999, ISBN 80-85780-95-X, 722 s.
- [6] LEINVEBER, J., VÁVRA P.: *Strojnické tabulky*, Úvaly: Albra, 2003, ISBN 80-86490-74-2, 865 s.
- [7] FUXA, J., ADÁMKOVÁ, L.: *Sbírka příkladů z pružnosti a pevnosti II – 1. část*, Skriptum. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2007, 146 s. ISBN
- [8] PODEŠVA, J.: *Dynamika v příkladech*, Skriptum. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 1999, ISBN 80-85780-82-5, 194 s.
- [9] KRÍŽ, R., TRČKA, J.: *Tabulky materiálu pro strojírenství I – kovové materiály - železné kovy*, Ostrava: Montanex 1999, ISBN 80-85780-92-5, 350 stran
- [10] Primus firemní literatura a podklady.
- [11] Katalog firmy Primus: *Průmyslové vysokootáčkové pračky FS6, FS7 a FS10*, Primus, 2009, 2s.
- [12] Katalog firmy Electrolux: *Pračky, myčky, sušičky*, Electrolux, 2009, 52s.
- [13] Katalog firmy Girbau: *Průmyslové prací stroje*, Kovoslužba OTS a.s., 1s.
- [14] Katalog firmy VVM-IPSO: *IPSO HC 65 – odpružená pračka*, VVM-IPSO s.r.o, 2006, 2 s.
- [15] Katalog firmy VVM-IPSO: *Prací stroje UNIMAC – katalog náhradních dílů*, VVM-IPSO s.r.o, 2007, 46 s.
- [16] Katalog firmy Meron: *Průmyslový odpružená pračka*, Meron a.s., 2 s.
- [17] FOLTA Z.: *Technická zpráva č. FS10 0003*, VŠB TU Ostrava, 2009, 8 s.

- [18] *Wrack.ped.muni.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-04-20]. ISES na PDF MU – Nucené kmity. Dostupné z WWW: <<http://wrack.ped.muni.cz/cvt6/2008/sk1/index.php?page=experiment&experiment=nucene-kmity&akce=fyzikalni-pohled>>.
- [19] *Www.vvm-ipso.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-04-20]. Nová sestava strojů s náplní 7 kg suchého prádla. Dostupné z WWW: <<http://www.vvm-ipso.cz/strojirenska-vyroba/novinky/161/nova-sestava-stroju-s-naplni-7-kg-sucheho-pradla.html>>.
- [20] *Http://pracky-predni-plneni.elektromedia.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-20]. Miele Softtronic W 1749. Dostupné z WWW: <<http://pracky-predni-plneni.elektromedia.cz/miele-softtronic-w-1749-wps-liquidwash#parametry-produktu>>.
- [21] *Www.kebek.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-20]. Trhací nýty. Dostupné z WWW: <<http://www.kebek.cz/sortiment/strojirenstvi/spojovaci-soucasti/trhaci-nyty/>>.
- [22] *Www.najdiservis.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-20]. Automatická pračka. Dostupné z WWW: <<http://www.najdiservis.cz/cojeto.htm?clid=3496&strana=1>>.
- [23] *Pro/ENGINEER Wildfire 4.0*, Parametric Technology Corporation, verze: M020, 2008
- [24] *Autodesk Inventor Professional 2008*, Autodesk inc., verze: 254, 2008
- [25] *AutoCAD 2008*, Autodesk inc., verze: B.51.0 (UNICODE), 2008
- [26] *ANSYS Workbench 11.0 SP1*, ANSYS, Inc., verze: 26147, 2007
- [27] *Microsoft Office Excel 2003*, Microsoft Corporation, verze: 11.6355.6360 SP1, 2003

Seznam příloh:

Příloha A	Tabulka hodnot cyklu tlumiče	(1 s.)
Příloha B	Tabulka hodnot cyklu pružiny	(1 s.)
Příloha C	Postup přípravy rámu na výpočet v programu [24]	(3 s.)
Příloha D	Kopie atestu materiálu plechu	(1 s.)
Příloha E	Vedlejší návrhy rámu	(3 s.)
Příloha F	Dokumentace třecího tlumiče	(2 s.)
Příloha G	Popis prvků spodního rámu	(4 s.)
Datový nosič CD		
Sestavný výkres spodního rámu		

Příloha A: Tabulka hodnot cyklu tlumiče (pro obr. 28)

záznam č.	t	tlumič č.4		tlumič č.3		tlumič č. 2		tlumič č.1	
		F_x	F_y	F_x	F_y	F_x	F_y	F_x	F_y
	[s]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
28816	154,32	29,37	72,59	34,48	-86,84	28,75	72,44	32,35	-82,84
28817	154,33	7,61	18,70	34,75	-87,52	5,93	14,82	33,83	-87,13
28818	154,33	-33,11	-80,80	34,60	-87,01	-29,37	-72,74	34,59	-89,43
28819	154,33	-31,91	-77,38	34,02	-85,27	-33,58	-82,45	34,89	-90,30
28820	154,33	-34,74	-83,73	32,51	-81,10	-35,39	-86,22	34,80	-89,93
28821	154,34	-35,67	-85,57	29,26	-72,58	-36,44	-88,25	34,27	-88,20
28822	154,34	-36,09	-86,29	5,03	-12,40	-36,87	-88,97	33,21	-84,95
28823	154,34	-35,96	-85,86	-31,92	78,30	-36,71	-88,48	29,50	-74,89
28824	154,34	-35,28	-84,29	-32,28	78,83	-35,91	-86,68	15,97	-40,22
28825	154,35	-33,49	-80,21	-34,68	84,42	-34,47	-83,57	-30,44	76,06
28826	154,35	-29,79	-71,64	-35,50	86,30	-29,77	-72,63	-33,14	82,22
28827	154,35	-10,55	-25,51	-35,79	87,02	-9,47	-23,29	-35,04	86,49
28828	154,35	33,68	81,95	-35,55	86,63	29,92	74,20	-36,06	88,73
28829	154,36	31,45	76,99	-34,78	85,05	32,92	82,35	-36,44	89,62
28830	154,36	34,06	83,87	-33,09	81,31	34,34	86,55	-36,26	89,36
28831	154,36	34,73	85,91	-29,00	71,69	35,04	88,83	-35,48	87,82
28832	154,36	34,98	86,78	-7,70	19,16	35,27	89,70	-34,06	84,82
28833	154,37	34,81	86,45	31,81	-79,57	35,08	89,29	-30,10	75,53
28834	154,37	34,21	84,88	31,42	-78,96	34,44	87,47	-19,84	50,20
28835	154,37	32,73	80,95	33,63	-84,84	33,32	84,23	30,61	-78,10
28836	154,37	29,02	71,47	34,35	-86,82	29,21	73,35	32,02	-82,31
28837	154,38	11,79	28,88	34,64	-87,56	11,09	27,63	33,65	-86,98
28838	154,38	-33,81	-82,25	34,53	-87,13	-30,32	-74,88	34,45	-89,38
28839	154,38	-31,74	-76,72	33,98	-85,45	-33,45	-81,89	34,78	-90,33
28840	154,38	-34,76	-83,53	32,64	-81,69	-35,40	-86,01	34,71	-90,04
28841	154,39	-35,72	-85,45	28,75	-71,54	-36,49	-88,13	34,22	-88,39
28842	154,39	-36,17	-86,24	9,12	-22,56	-36,95	-88,92	33,20	-85,23
28843	154,39	-36,07	-85,89	-32,64	80,29	-36,82	-88,51	29,77	-75,85
28844	154,39	-35,42	-84,39	-31,97	78,25	-36,05	-86,80	20,85	-52,67
28845	154,40	-33,77	-80,68	-34,56	84,30	-34,64	-83,77	-31,38	78,65
28846	154,40	-29,58	-70,97	-35,42	86,25	-30,18	-73,45	-32,83	81,68
28847	154,40	-14,47	-34,91	-35,74	87,03	-14,16	-34,73	-34,90	86,34
28848	154,40	34,14	82,89	-35,54	86,70	30,88	76,41	-35,96	88,67
28849	154,41	31,26	76,37	-34,80	85,19	32,77	81,80	-36,38	89,63
28850	154,41	34,05	83,70	-33,26	81,78	34,33	86,37	-36,24	89,43
28851	154,41	34,74	85,82	-28,81	71,24	35,05	88,73	-35,51	87,96
28852	154,41	35,01	86,76	-11,43	28,44	35,30	89,69	-34,12	85,04
28853	154,42	34,86	86,49	32,49	-81,25	35,13	89,34	-30,42	76,37
28854	154,42	34,28	85,00	31,20	-78,40	34,50	87,61	-24,34	61,60
28855	154,42	32,92	81,41	33,59	-84,70	33,40	84,45	31,51	-80,39

Příloha B: Tabulka hodnot cyklu pružiny (pro obr. 30)

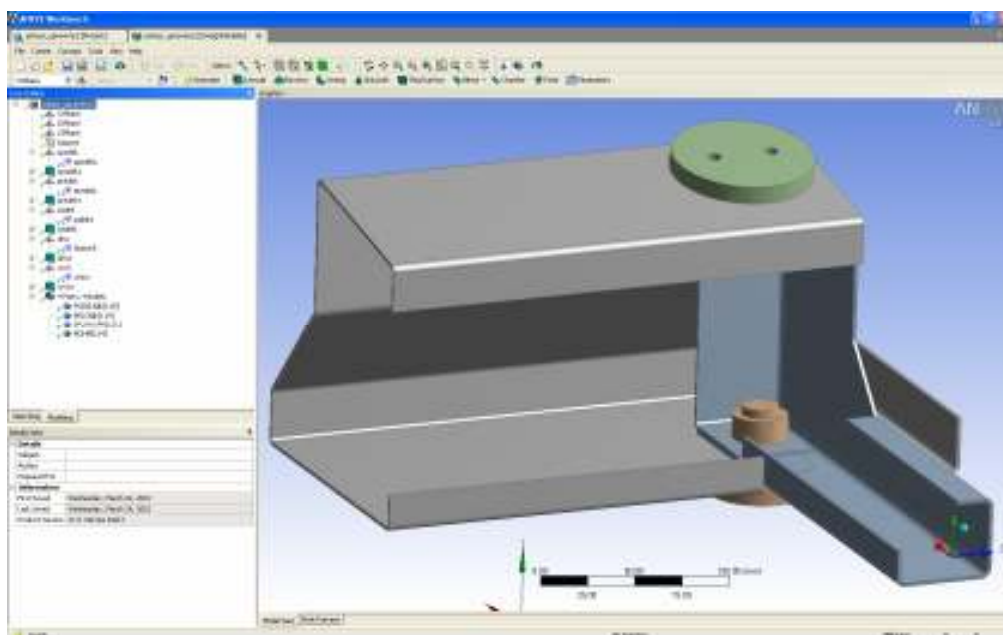
záznam č.	t	pružina č.4		pružina č.3		pružina č. 2		pružina č.1	
		F _x	F _y	F _x	F _y	F _x	F _y	F _x	F _y
	[s]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]
1	0,00	50,68	-290,90	50,74	-295,32	49,50	-277,19	49,44	-281,69
2	0,04	49,83	-292,84	51,59	-293,39	48,54	-279,13	50,41	-279,79
3	0,08	47,36	-298,11	54,05	-288,16	45,79	-284,37	53,15	-274,63
4	0,12	43,79	-305,45	57,57	-281,05	41,95	-291,68	56,94	-267,59
5	0,16	40,15	-313,21	61,13	-273,85	38,18	-299,44	60,65	-260,44
6	0,20	37,61	-319,59	63,61	-268,27	35,71	-305,84	63,04	-254,85
7	0,24	37,11	-323,09	64,08	-265,45	35,51	-309,36	63,21	-251,95
8	0,28	39,12	-322,89	62,10	-265,84	37,99	-309,21	60,77	-252,22
9	0,32	43,49	-319,18	57,82	-269,25	42,87	-305,56	55,97	-255,51
10	0,36	49,48	-313,02	51,93	-274,91	49,28	-299,49	49,65	-261,10
11	0,40	55,95	-306,01	45,54	-281,65	55,99	-292,56	43,03	-267,83
12	0,44	61,63	-299,70	39,92	-288,04	61,65	-286,31	37,44	-274,29
13	0,48	65,27	-295,60	36,31	-292,41	65,01	-282,19	34,11	-278,75
14	0,52	65,99	-294,68	35,59	-293,32	65,23	-281,20	33,90	-279,77
15	0,56	63,63	-297,02	37,91	-290,46	62,26	-283,42	36,82	-277,01
16	0,60	58,80	-301,86	42,63	-284,75	56,89	-288,15	42,08	-271,38
17	0,64	52,82	-307,81	48,47	-278,03	50,59	-294,03	48,25	-264,71
18	0,68	47,30	-313,06	53,86	-272,45	45,06	-299,26	53,64	-259,11
19	0,72	43,72	-315,73	57,36	-269,68	41,82	-301,93	56,79	-256,21
20	0,76	43,03	-314,53	58,04	-270,56	41,70	-300,73	56,89	-256,88
21	0,80	45,33	-309,26	55,77	-275,05	44,64	-295,44	53,94	-261,13
22	0,84	49,90	-300,94	51,22	-282,40	49,77	-287,13	48,82	-268,28
23	0,88	55,42	-291,55	45,69	-291,18	55,56	-277,77	43,01	-276,98

Příloha C: (1/3) Postup přípravy rámu na výpočet v programu [24].

Rám byl namodelován v programu [21] nebo [22]. Postup tvorby rámu zde nebude uveden, jelikož by byl příliš obsáhlý. Do programu [24] se již vkládají hotové modely se všemi potřebnými prvky pro výpočet. V tomto programu se provedou úpravy nutné k provedení výpočtů. Jak již bylo uvedeno, výpočet se provádí na čtvrtinovém modelu spodního rámu. Dosažené výsledky na tomto rámu jsou uvedeny na konci této kapitoly.

a) Tvorba modelu:

Importování rámu a vytvoření dotykových ploch na jednotlivých dílech rámu. Model se všemi těmito plochami je na obr. P1. Plochy kopírují předpokládané pevné spojení dosažené za pomoci šroubů a nýtů. Tyto plochy budou v bodě b) použity k určení vazeb mezi plochami.



Obr. P1 Výpočtový model s vytvořenými dotykovými plochami

b) Tvorba simulace:

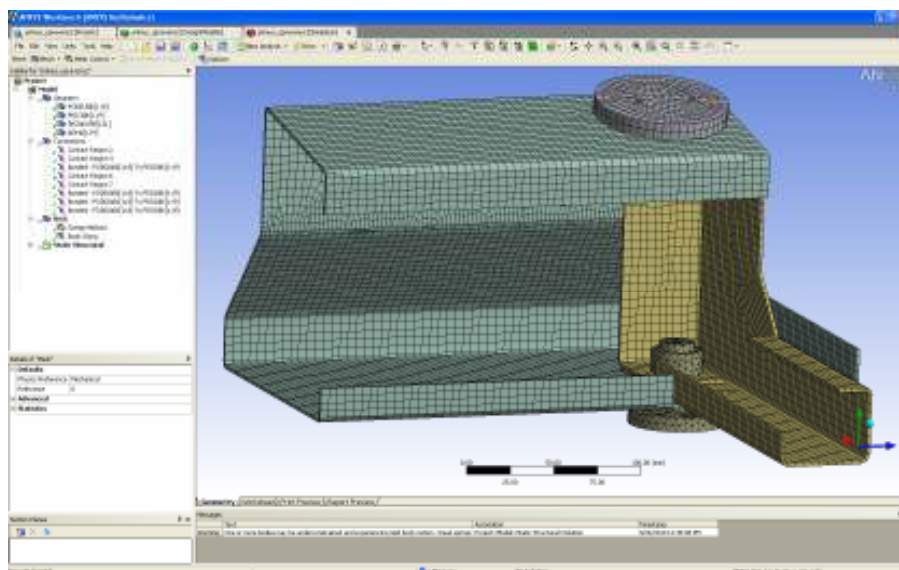
Určení vazeb mezi jednotlivými plochami dílů a v případě nutnosti určení jednotnosti některých ploch. Způsob spojení je zobrazen na obr. P3. Dále je nutné zadat správné materiály k jednotlivým dílům, popř. upravit stávající materiály, tak aby se shodovaly se skutečnými. Použité materiály jsou uvedeny na obr. P2, kde jsou vlastnosti pozinkované oceli a základní vlastnosti nylonového materiálu použitého na podložku pružiny.

Structural Steel		nylon	
- Structural Add/Remove Properties		- Structural Add/Remove Properties	
<input type="checkbox"/> Young's Modulus	1,999e+011 Pa	<input type="checkbox"/> Young's Modulus	4,0003e+009 Pa
<input type="checkbox"/> Poisson's Ratio	0,27	<input type="checkbox"/> Poisson's Ratio	0,4
<input type="checkbox"/> Density	7829, kg/m³	<input type="checkbox"/> Density	4000,3 kg/m³
<input type="checkbox"/> Thermal Expansion	1,2e-005 1/°C	<input type="checkbox"/> Thermal Expansion	0, 1/°C
<input type="checkbox"/> Alternating Stress			
<input type="checkbox"/> Strain-Life Parameters			
<input type="checkbox"/> Tensile Yield Strength	2,5e+008 Pa		
<input type="checkbox"/> Compressive Yield Strength	2,5e+008 Pa		
<input type="checkbox"/> Tensile Ultimate Strength	4,6e+008 Pa		
<input type="checkbox"/> Compressive Ultimate Strength	0, Pa		
- Thermal Add/Remove Properties		- Thermal Add/Remove Properties	
<input type="checkbox"/> Thermal Conductivity	60,5 W/m·°C	<input type="checkbox"/> Thermal Conductivity	0, W/m·°C
<input type="checkbox"/> Specific Heat	434, J/kg·°C	<input type="checkbox"/> Specific Heat	0, J/kg·°C
- Electromagnetics Add/Remove Properties		- Electromagnetics Add/Remove Properties	
<input type="checkbox"/> Relative Permeability	10000	<input type="checkbox"/> Relative Permeability	0,
<input type="checkbox"/> Resistivity	1,7e-007 Ohm·m	<input type="checkbox"/> Resistivity	0, Ohm·m

c) Vytvoření sítě:

Nutný výběr typu sítě se skořepinovými prvky (*solid shell*) pro základní díly z plechu a určení velikosti prvků jejich sítě. Pro předběžný výpočet je použita velikost prvku 4 mm. U ostatních použitých prvků jako je šroub, podložka či noha je použita automatická volba typu sítě. Obrázek s vygenerovanou sítí je zobrazen na obr. P3.

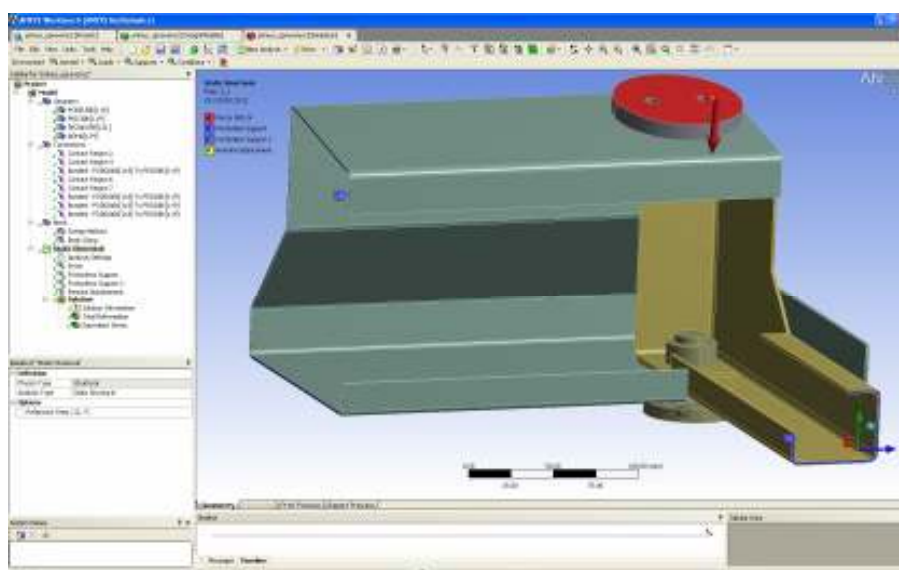
Příloha C: (3/3) Postup přípravy rámu na výpočet v programu [24].



Obr. P3 Model s vygenerovanou sítí


d) Výběr analýzy a zadání okrajových podmínek a zatížení:

Je zde zvolena statická analýza. Je nutné zadat symetrickou vazbu na místa rozdělení dílů. K tomu se v tomto programu používá vazba třecí (*frictionless support*). Dále je v případě nohy použita vazba posunu (*displacement*), která zabraňuje posuvu ve směru osy nohy nebo v případě použití šroubu vazba napevno (*fixed*), která zabraňuje pohybu ve všech směrech. Celá připravená simulace i se všemi prvky je zobrazena na obr. P4. Posledním krokem je provedení výpočtu. Výsledky jsou vedeny v kapitole 3.2. nebo v Příloze E.



Obr. P4 Simulace připravená k výpočtu

Příloha D: Kopie atestu materiálu plechu

	
Dodavatel: ALFUN a.s. Zahradní 1610/40 79201 BRUNTÁL IČ: 25828649 DIČ: CZ25828649 Společnost zapsaná v OR KS Ostrava, oddíl B, vložka 2732	Kontaktní osoba odběratele: Malinovský Petr FAX:

ATEST dle EN 10204; 3.1 (opis)	
Číslo atestu	: 7844
Interní kód atestu	: F9840-7844
Zákazník	: Primus CE s.r.o. (Místecká 1116 Příbor , 742 58)
Číslo objednávky	: e - mail 9.2.2010
Číslo dodacího listu	: DL101002677
Opis zhotovil	: Truchlíková Markéta
Dne	: 11.2.2010

Atest: F9840 (F9840-7844)

Tavba (Heat No.) 113163	Datum zhotovení (Date) 14.12.2009
-----------------------------------	---

Chemické složení [%] (Chemical composition [%])

C	Si	Mn	S	P
0,0430	0,0100	0,2437	0,0120	0,010
Al	N	N2	Cr	Cu
0,0360		0,0042		

Mechanické hodnoty (Mechanical properties)

Rm [MPa]	Rp0,2 [MPa]	A%	A80%	ZN/3
368,0	292,0	36,2		
r90	n90			

Vlastnosti materiálu dle EN 10142, EN 10143, EN 10346 &br,(Material characteristics according to EN 10142, EN 10:

Charakteristika materiálu
Označení chemického složení, stav, rozměry[mm]
DX51D+Z275MAC 2.5x1250x2500

Popis materiálu: KÓD 529176

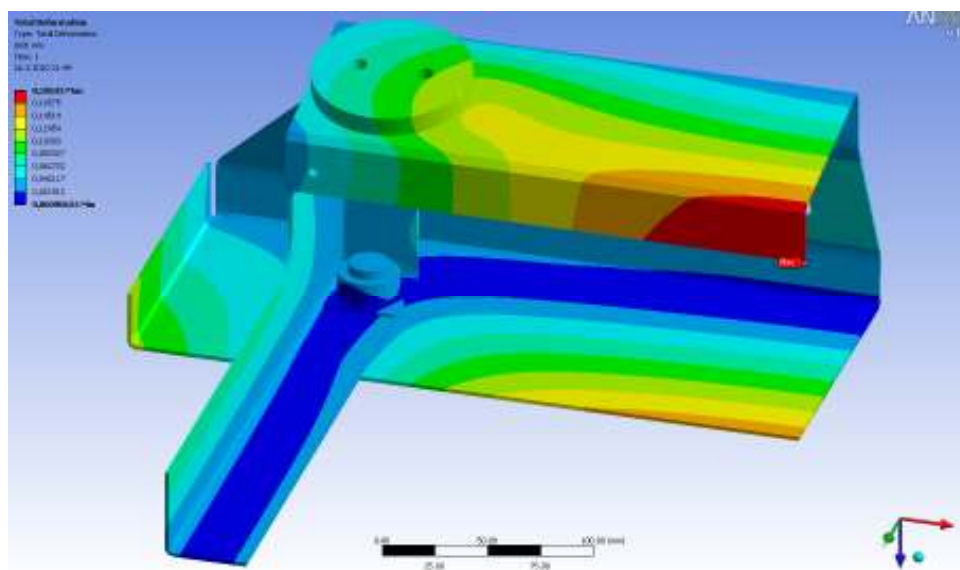
Za správnost údajů odpovídá:	Truchlíková Markéta	Podpis

Obr. P5 Kopie atestu materiálu

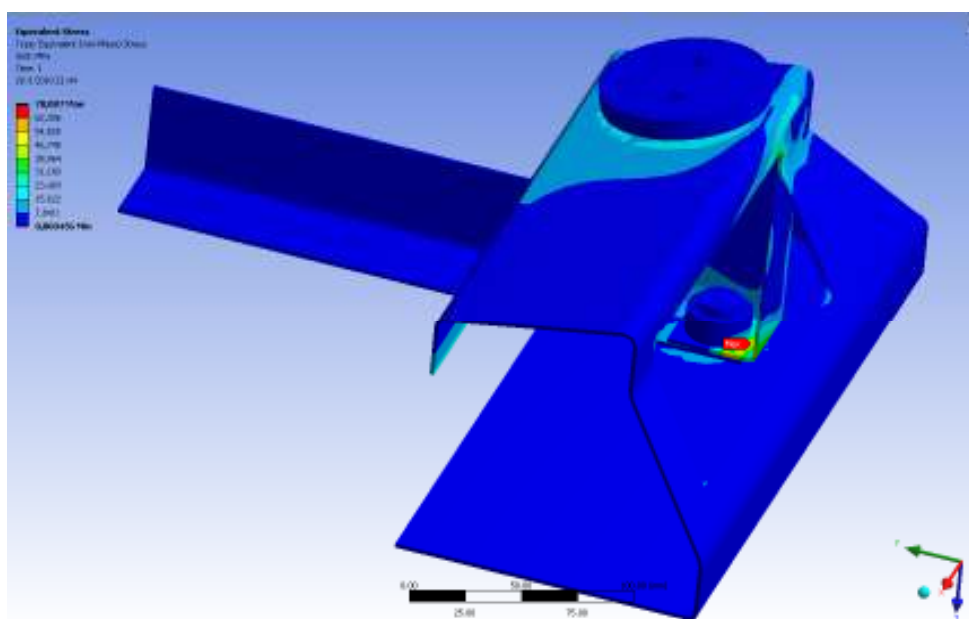
Příloha E: (1/3) Vedlejší návrhy rámu:

Jsou zde uvedeny tři návrhy rámu, které byly testovány před finálním řešením a sloužily jako nový způsob konstrukce nebo zjednodušení původního rámu. Jsou zde uvedeny pouze výsledky z programu [24], kterými jsou maximální deformace ε_{\max} a ekvivalentní napětí v rámu $\sigma_{R\max}$ dle metody HMM. Popis výsledků a řešení je pouze v příloze na CD.

První řešení rámu:



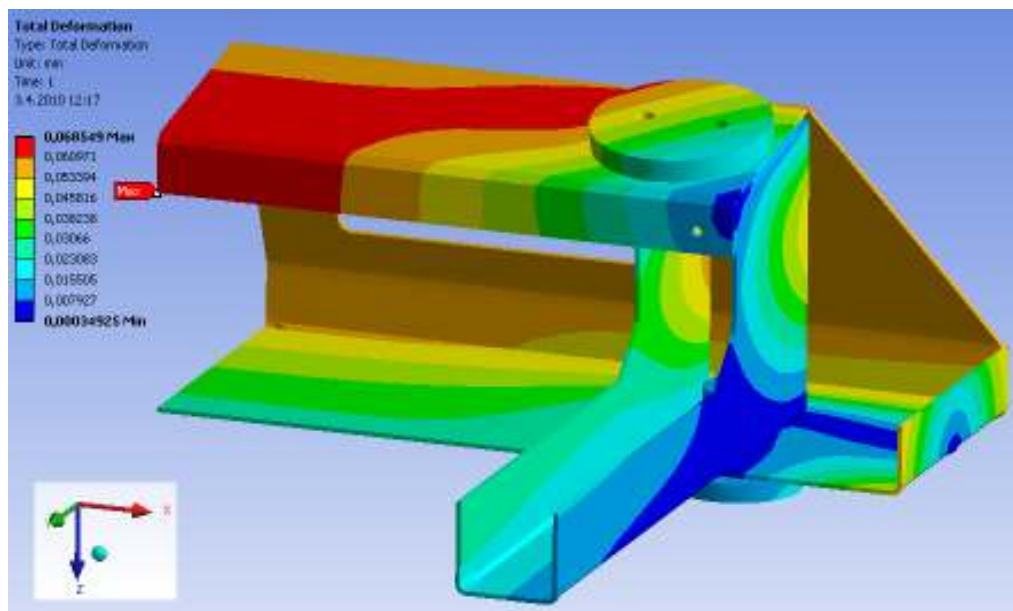
Obr. P6 Celkové deformace prvního řešení rámu ($\varepsilon_{\max} = 0,19 \text{ mm}$)



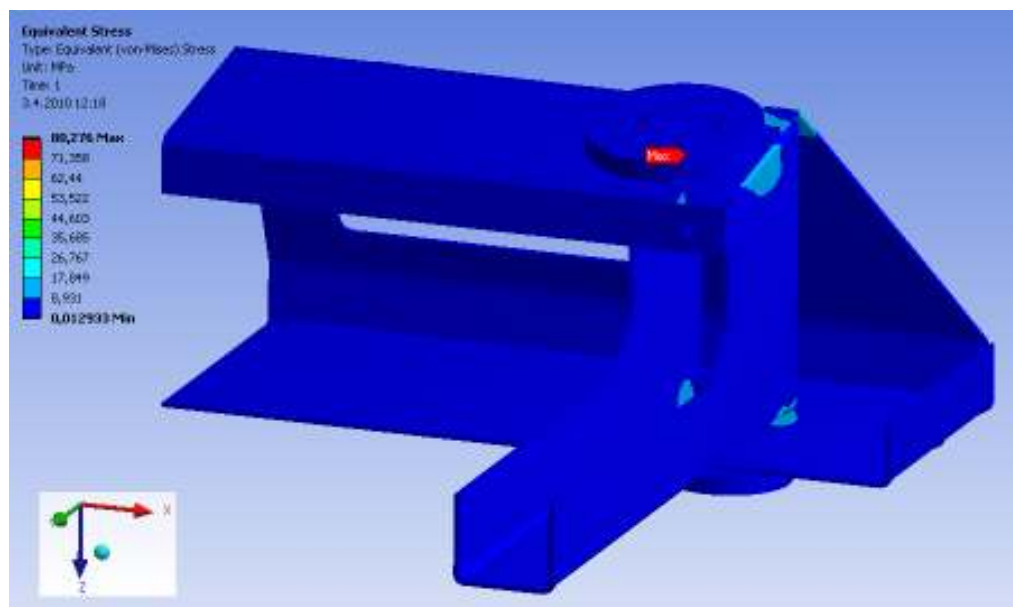
Obr. P7 Ekvivalentní napětí prvního řešení rámu ($\sigma_{R\max} = 70,1 \text{ MPa}$)

Příloha E: (2/3) Vedlejší návrhy rámu:

Druhé řešení rámu:



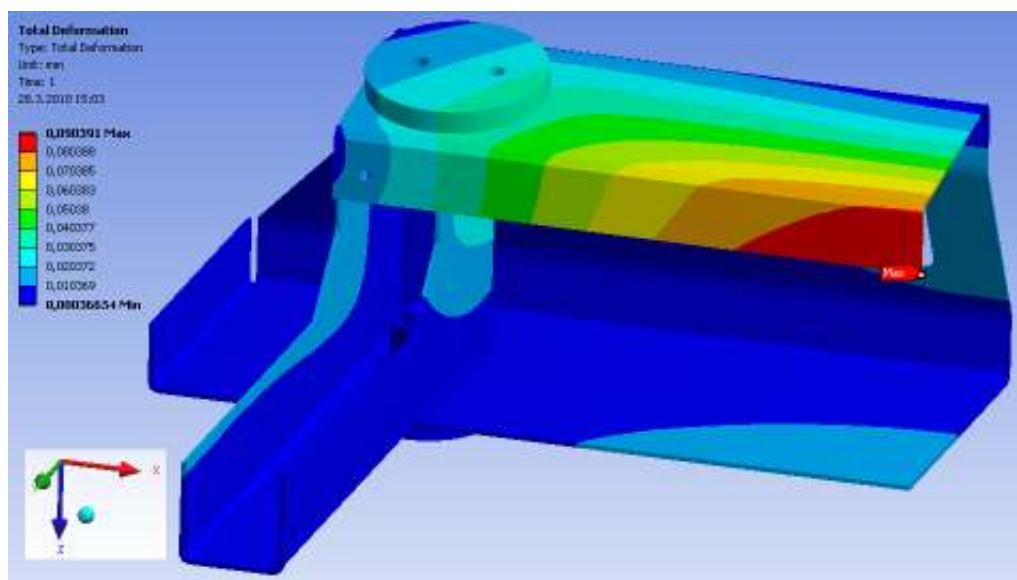
Obr. P8 Celkové deformace druhého řešení rámu ($\varepsilon_{\max} = 0,07 \text{ mm}$)



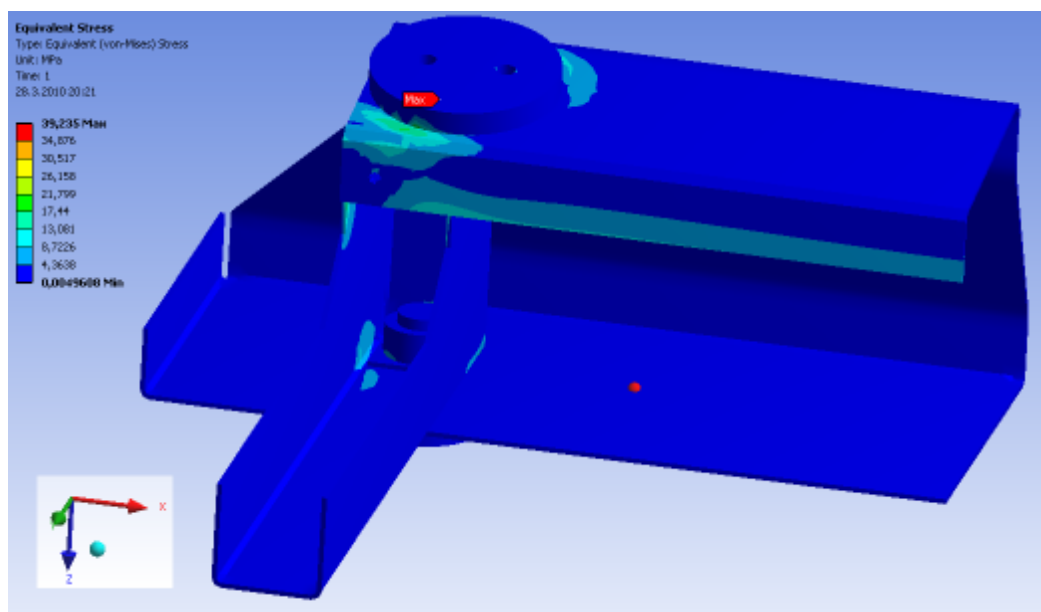
Obr. P9 Ekvivalentní hodnota napětí druhého řešení rámu ($\sigma_{R \max} = 80,3 \text{ MPa}$)

Příloha E: (3/3) Vedlejší návrhy rámu:

Třetí řešení rámu:

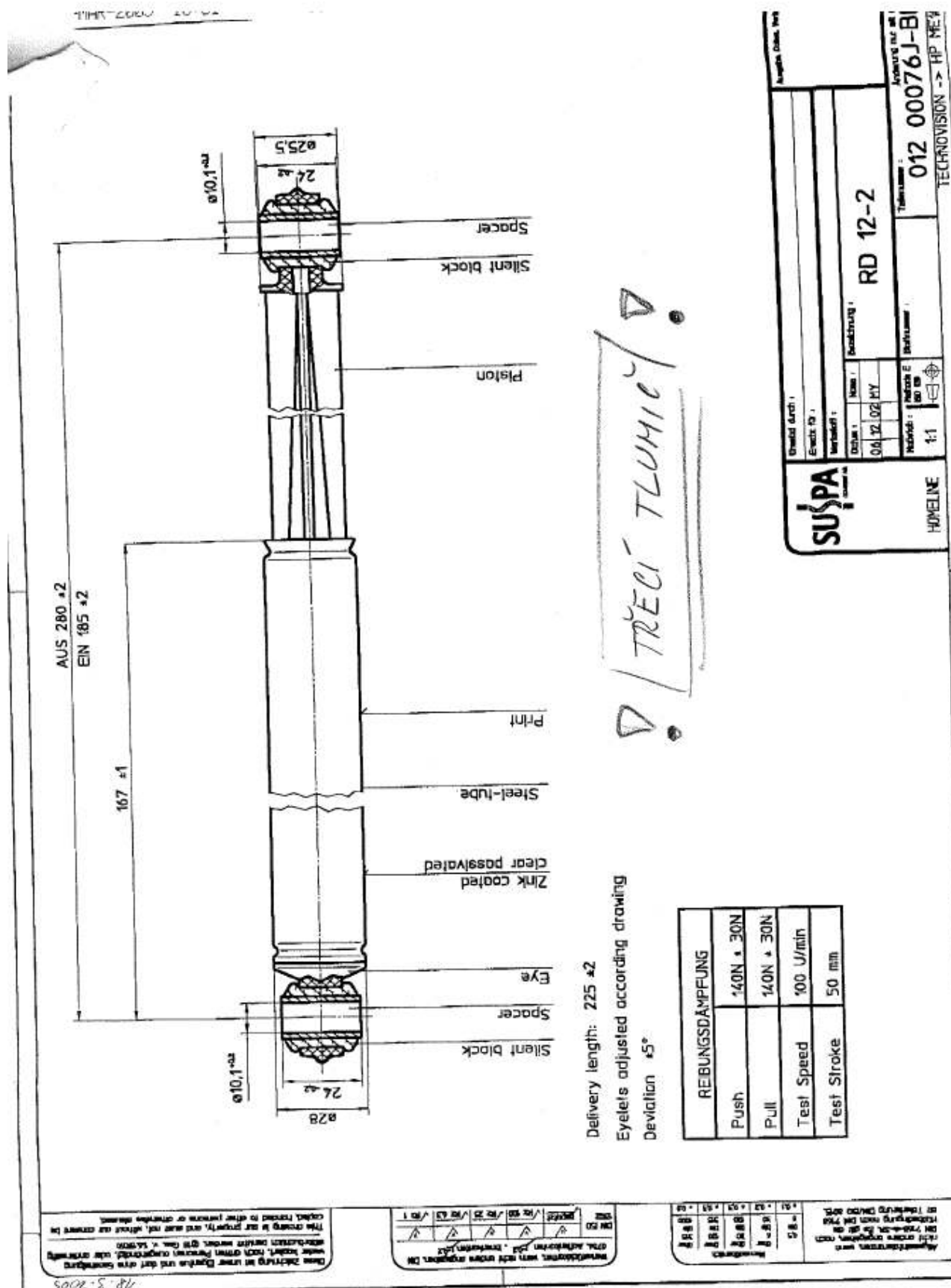


Obr. P10 Celkové deformace třetího řešení rámu ($\varepsilon_{\max} = 0,10 \text{ mm}$)



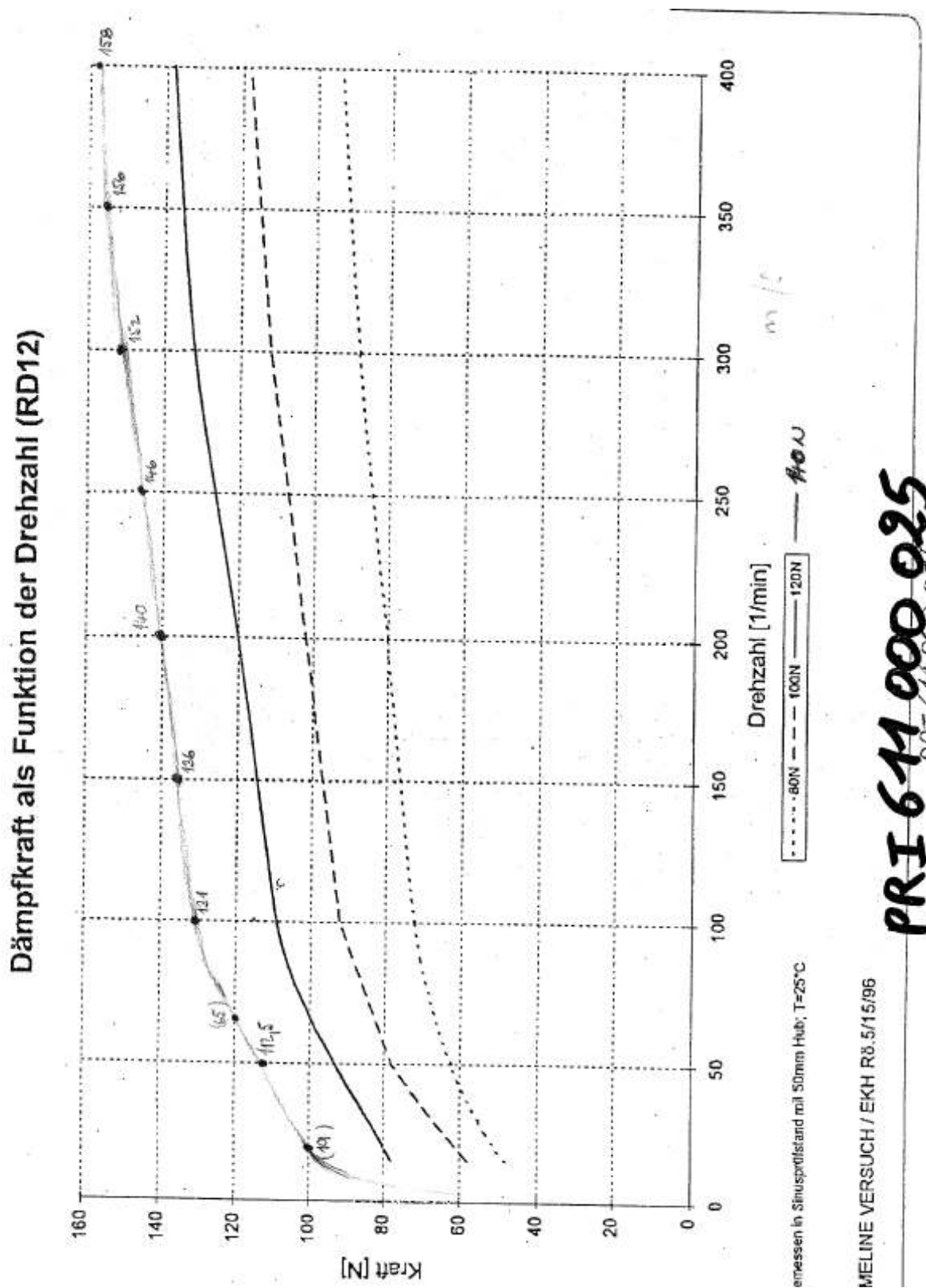
Obr. P11 Ekvivalentní napětí třetího řešení rámu ($\sigma_{R\max} = 39,2 \text{ MPa}$)

Příloha F: (1/2) Dokumentace třecího tlumiče



Obr. P12 Výkresová dokumentace tlumiče

Příloha F: (2/2) Dokumentace tlumiče



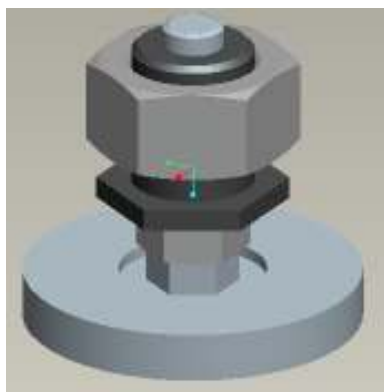
Obr. P13 Charakteristika zatížení třecího tlumiče

Příloha G: (1/4) Popis prvků spodního rámu

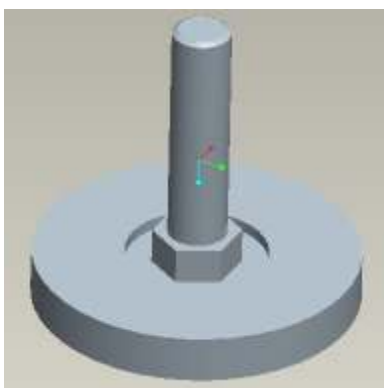
Jsou zde uvedeny a popsány jednotlivé prvky použité na spodním rámu pračky, kromě nýtových spojů a tlumení, které jsou uvedeny v práci.

1. Noha

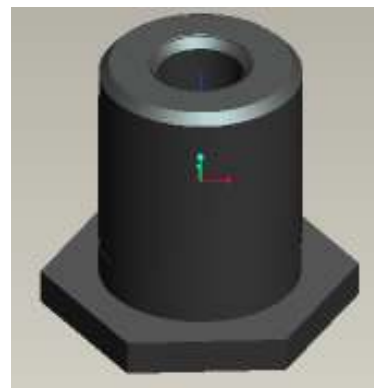
Způsob uspořádání nohy je zobrazen na obr. P14. Jednotlivé díly jsou popsány níže. K držení stability pračky jsou použity 4 nohy.



Obr. P14 Noha pračky



Obr. P15 Model šroubu



Obr. P16 Model hlavy

Šroub

Jedná se o speciálně vyrobený šroub s velkou opěrnou plochou, sloužící k udržování stability pračky. Závitová část je dlouhá 39 mm a závit velikosti M10 je obroben až k hlavě šroubu. Šroub je vyroben z pozinkované oceli s pevnostní třídou 4.8. Model šroubu bez závitu je zobrazen na obr. P15.

Matice M10×1 ISO 4032 - 05

Slouží k nastavení vzdálenosti na šroubu. Je provedena dle normy ČSN EN ISO 24032 a vyrobena z pozinkované oceli s pevnostní třídou 5 (odpovídá třídě šroubu 4.8). Rozteč závitu je základní normalizovaná.

Hlava

Slouží k podepírání spodní části rámu a k nesení matice. Je vyrobena s vnitřním závitem M10, který se našroubuje na Šroub a vnějším závitem M20, na který se nasazuje Matice M20×1,5, sloužící k utažení plechů. Hlava je vyrobena z pozinkované oceli třídou pevnosti 5. Model hlavy je zobrazen na obr. P16.

Příloha G: (2/4) Popis prvků spodního rámu

Matice M20×1,5 ČSN 02 1402 - 05

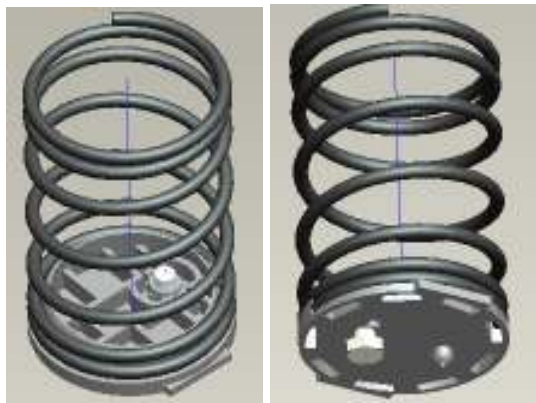
Slouží k utažení plechů, čímž se zajistí stabilní poloha nohy. Matice je vyrobena dle normy ČSN 02 1402 z pozinkované oceli s třídou pevnosti 5. Jedná se o jemnou rozteč závitu o velikosti 1,5 mm.

Šroub M20×50 – 4.8

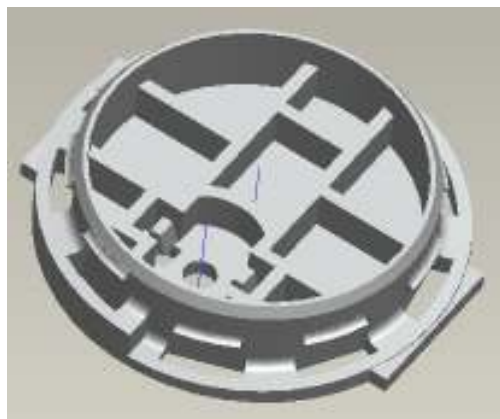
Nahrazuje nohu v případě požadavku na pevné uchycení pračky. Jedná se o šroub vyrobený dle normy ČSN EN 24017 z pozinkované oceli s třídou pevnosti 4.8. Rozteč závitu je základní normalizovaná.

2. Odpružení

Je provedeno za pomoci pružiny, která je vsazena do podložek a uchycena šroubovým spojem a čepem k rámu, čímž dochází k pevnému zajištění polohy. Složený model uchycení je na obr. P17.



Obr. P17 Model odpružení



Obr. P18 Nylonová podložka

Pružina

Tlumí rázy a zajišťuje harmonické rozložení zatížení na spodní rám. Je vyrobena s tuhostí $5000 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$. Na celém rámu jsou použity 4 pružiny, které jsou rovnoměrně rozloženy.

Podložka

Speciálně vyrobená podložka slouží k zajištění polohy pružiny za pomoci šroubu a nýtu, které se upevňují do konstrukce rámu. Pružina je v podložce držena pomocí drážek, které jsou spirálovitě rozloženy po obvodu. Podložka je vyrobena z nylonového materiálu. Vzhled podložky je na obr. P18.

Příloha G: (3/4) Popis prvků spodního rámu

Šroub M8×20 ISO 4014 – 4.8

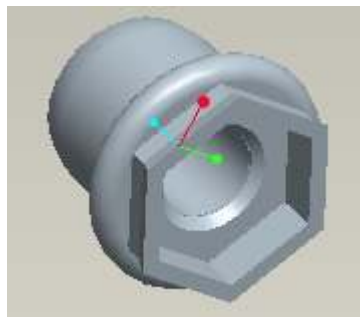
Slouží k uchycení podložky k rámu a zajištění její stálé polohy. Jedná se o šroub vyrobený dle normy ČSN EN ISO 4014 z pozinkované oceli s pevnostní třídou 4.8. Rozteč zavitu je základní normalizovaná. Šroub má jmenovitou délku 20 mm, což je méně než udává norma. Proto se kupuje ve zkrácené verzi nebo v normalizované a poté se zkracuje.

Matice M8 ISO 7040 - 05

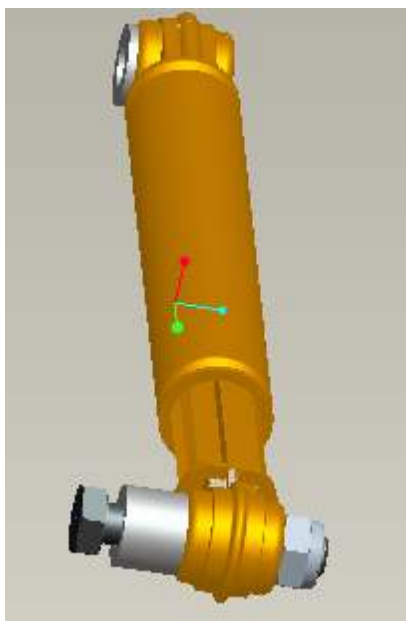
Slouží k utažení šroubu a zajištění polohy mezi podložkou a rámem. Jedná se o samojistnou matici vyrobenou dle normy ČSN EN ISO 7040 z pozinkované oceli s pevnostní třídou 5. Polohu matice zajišťují dvě úchytky viz. obr. P18, které zabraňují protáčení matice. Rozteč zavitu je základní normalizovaná.

3. Držák

Držáky se zasazují do bočních stěn spodního rámu, ke kterým se upevní i s bočními plechy pomocí šroubů. Jsou vyrobeny z materiálu 11 500. Model držáku je zobrazen na obr. P19.



Obr. P19 Model držáku plechů



Obr. P20 Model tlumiče

4. Tlumení

Je provedeno za pomoci třecího tlumiče, který je uchycen k hornímu i spodnímu rámu pomocí šroubu, matic a podložek. Model tlumiče se všemi použitými prvky je zobrazen na obr. P20.

Příloha G: (4/4) Popis prvků spodního rámu

Třecí tlumič

Je vyroben ze dvou dílů. Tření je zajištěno spojením ve vnitřní části mezi oběma díly. Tlumič je nastaven na hodnotu 140N. Dokumentace tlumiče je uvedena v Příloze F.

Šroub M10×55 ISO 4014 – 4.8

Slouží k uchycení tlumiče a zajištění jeho polohy vůči spodnímu rámu. Jedná se o šroub vyrobený dle normy ČSN EN ISO 4014 z pozinkované oceli s pevnostní třídou 4.8. Rozteč zavitu je základní normalizovaná.

Matice M10 ISO 7040 - 5

Jedná se o samojistnou matici vyrobenou dle normy ČSN EN ISO 7040 z pozinkované oceli s pevnostní třídou 5. Rozteč zavitu je základní normalizovaná.

Podložka ISO 7089 - 10

Jedná se o plochou kruhovou podložku běžné řady vyrobenou dle normy ČSN EN ISO 7089. Podložka slouží k vyplnění mezery mezi tlumičem a konstrukcí dolního a horního rámu. K nastavení potřebné vzdálenosti je na spodním rámu použito 7 podložek.